LES DOSSIERS DE LA Recherche

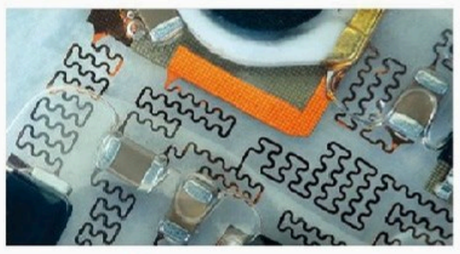
LES DOSSIERS DE
LA Recherche

WWW.LA RECHERCHE.FR

DLR

#10 JUIN/JUILLET 2014

.COM
MENACES SUR
L'INTERNET LIBRE



SANTÉ
LES PUCES NOUS
COLLENT À LA PEAU

REQUINS
ATTENTION FRAGILE !

M 04219 - 10 - F: 6,90 € - RD

LES 5 MÉCÈNES DE LA SCIENCE

PILOTER LA MACHINE PAR LA PENSÉE

Un nouveau langage entre l'homme et l'ordinateur

Nouvelle formule

D 8,60 € - BEL 7,90 € - ESP 7,60 € - GR 7,60 € - ITA 7,60 € - LUX 7,60 € - PORT CONT 7,60 € - CH 13,80 FS - TUN 7,40 TND - MAR 69 DH - CAN 10,99 $ CAN - DOM 7,60 € - TOM SURFACE 1000 XPF - TOM AVION 1720 XPF - ISSN 1772-3809

NE LOUPEZ PLUS LA SORTIE DE VOTRE MAGAZINE !

Presstalis RCS Paris : 529 326 050 - © Esprit de Formes 2014 - Crédit photo : Fotolia

ZEENS

L'APPLICATION POUR :

- **Explorer** l'offre presse magazine
- **Découvrir** les couvertures, les sommaires…
- **Être alerté** dès la parution de votre titre préféré
- **Géolocaliser** le point de vente le plus proche où le titre est disponible **appeler** directement le point de vente, **connaître** ses horaires

presstalis

TÉLÉCHARGEZ-LA DÈS MAINTENANT SUR VOTRE SMARTPHONE

Disponible sur iPhone App Store

Disponible sur Google play

LES DOSSIERS DE
LA Recherche

PAR ALINE RICHARD
directrice de la rédaction

INÉGALITÉS DANS LA VALLEY

L'économiste français Thomas Piketty fait actuellement un carton aux États-Unis avec son livre, *Le Capital au XXIe siècle*, sur la montée des inégalités sociales. La technologie, source de progrès et de richesse, peut-elle à ce propos inverser la tendance et créer une société plus démocratique et égalitaire, comme le pensaient les pionniers de l'Internet ? Il semblerait que non. Bien au contraire, le fossé se creuse entre nantis et exclus au cœur même de la nouvelle économie, dans la Silicon Valley. Les Google, Facebook, Apple et les autres, qui aiment tant parler d'écosystème pour l'innovation et la créativité en ont bel et bien créé un, en circuit fermé, avec bus privés et loyers inabordables.

Cet entre-soi, qui a suscité des réactions hostiles à San Francisco, n'est pas anecdotique. Les géants du numérique et la cohorte de start-up qui vantent un monde ouvert et connecté travaillent surtout à promouvoir leurs propres intérêts et à pérenniser leurs positions, si possible dominantes. Cela n'a rien de scandaleux, mais cela mérite d'être dit clairement.

Jean-Marc Manach @manhack
Journaliste

« @MAGLARECHERCHE A ENFANTÉ D'UN PETIT @MAG_DLR, LE SAVIEZ-TU ? »

1re rédactrice graphique Michèle Bourgeois
Service photo Anne Viratelle
E-mail rédaction : courrier@larecherche.fr

Conception graphique
Anoir | www.anoir.fr

RÉALISATION DE CE NUMÉRO
Rédactrice en chef adjointe et chargée de la réalisation des DLR Sophie Coisne
Direction artistique
Vincent Sainte Fare Garnot
Secrétaire générale de la rédaction
Catherine Caltaux
Graphiste Pascal Lyabastre
Secrétaire de rédaction Véronique Fuvel
Iconographes Valérie Delchambre, Anne Viratelle
Ont collaboré à ce numéro Jacques Abadie, Anne Balleydier, Christophe Blanc, Julien Bourdet, Rafaële Brillaud, Hervé Cabibbo, Gautier Cariou, Dora Courbon, Denis Delbecq, Clément Delorme, Philippe Fontaine, Sylvain Guilbaud, Olivier Lapirot, Mathieu Lauria, Camille L'Épine, Stéphane Viossat

Directrice déléguée gestion et numérique
Dounia Ammor
Directrice des ventes et promotion
Evelyne Miont (13 80)
Vente messageries VIP-diffusion
Frédéric Vinot numéro vert 0800 51 49 74
Directrice commerciale et marketing
Virginie Marliac
Responsable du marketing direct
Linda Pain (54 51)
Responsable gestion abonnements
Isabelle Parez (13 60)
Responsable comptabilité
Sylvie Poirier (12 89)
Diffusion librairies
DIF'POP'. Tél. : 01 40 24 21 31 Fax : 01 40 24 15 88

Directrice commerciale publicité et développement Caroline Nourry
Directeur de clientèle
Antoine Faure (12 57)
Directeur de clientèle
Eddie Barazzuol (12 12)
Directrice de clientèle secteur culture
Françoise Hullot (12 13)

Imprimerie G. Canale & C., Via Liguria 24, 10071 Borgaro (TO), Italie.
Dépôt légal à parution.

ABONNEMENTS
Tarif France 1 an 12 numéros, 67 € ; 1 an 12 numéros + 6 Dossiers La Recherche, 99 € ; 1 an 6 numéros Dossiers La Recherche, 37 €.
Tarif international nous contacter.
Tél. 00 (33) 1 55 56 71 15
E-mail abo.recherche@groupe-gli.com
Adresse La Recherche Service Abonnements 17, route des Boulangers, 78926 Yvelines cedex 9
Suisse Edigroup Tél. : (0041) 22 860 84 01
Belgique Edigroup Tél. : (0032) 70 233 304

© DAHMANE - DR

SOMMAIRE

JUIN/JUILLET 2014

ÉDITO //3
Par **Aline Richard**

DATA //6
Qui achète quoi sur le Net?
Les nouvelles habitudes des consommateurs

TECH TOUR 9

TENDANCES //10
Une sélection d'objets à la pointe de la technologie

C'EST GRAVE DOCTEUR //16
Lire plus vite... sans comprendre!
Une application de lecture rapide mais qui nuit à la compréhension du texte

GÉOPOLITIQUE //18
La machine à anticiper le monde
L'étude des relations internationales a un nouvel outil: les big data

WORLD WIDE WEB //22
Menaces sur l'Internet libre et ouvert
Y aura-t-il bientôt un réseau à deux vitesses, avec des tarifs qui varient en fonction du contenu?

SANTÉ //29
Les puces nous collent à la peau
Le patch électronique, futur ami des médecins

COMMUNICATIONS //32
Un Wifi venu de l'espace
Pour tous ceux qui n'ont pas encore accès à Internet, voici Outernet

LA START-UP //34
Sysnav, fondé par David Vissière
Le système de navigation sans GPS

L'ÉCHO DES LABOS //36
Essentiels ou insolites, les projets des chercheurs

GAMING ROOM //42
«Le free-to-play offre au joueur un contenu personnalisé»
3 questions à Vinciane Zabban, sociologue

De l'intention au geste via les électrodes.
ILLUSTRATION GABRIEL REBUFELLO - PHOTO FELICE FRANKEL

Les titres, les intertitres, les textes de présentation et les légendes sont établis par la rédaction du mensuel. La loi du 11 mars 1957 interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite (article L.122-4 du Code de propriété intellectuelle). Toute copie doit avoir l'accord du Centre français du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél.: 01 44 07 47 70. Fax: 01 46 34 67 19). L'éditeur s'autorise à refuser toute insertion qui semblerait contraire aux intérêts moraux ou matériels de la publication.

Commission paritaire: 0318 k 91717. ISSN 1772-3809.

PILOTER LA MACHINE PAR LA PENSÉE

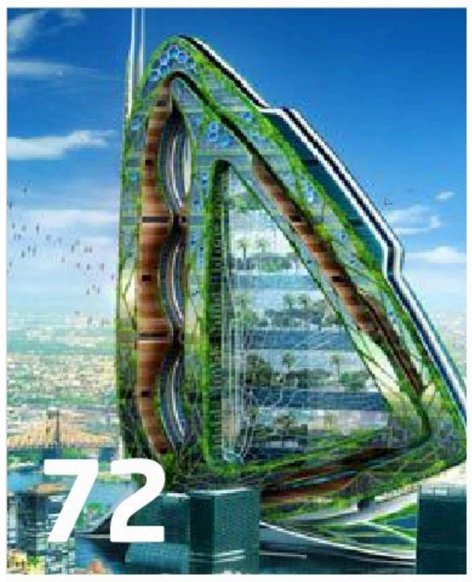
Les auteurs de science-fiction en ont rêvé, l'homme l'a fait. Aujourd'hui, avec les interfaces cerveau-machine, il peut se doter de nouvelles capacités en intégrant des technologies à son propre corps.

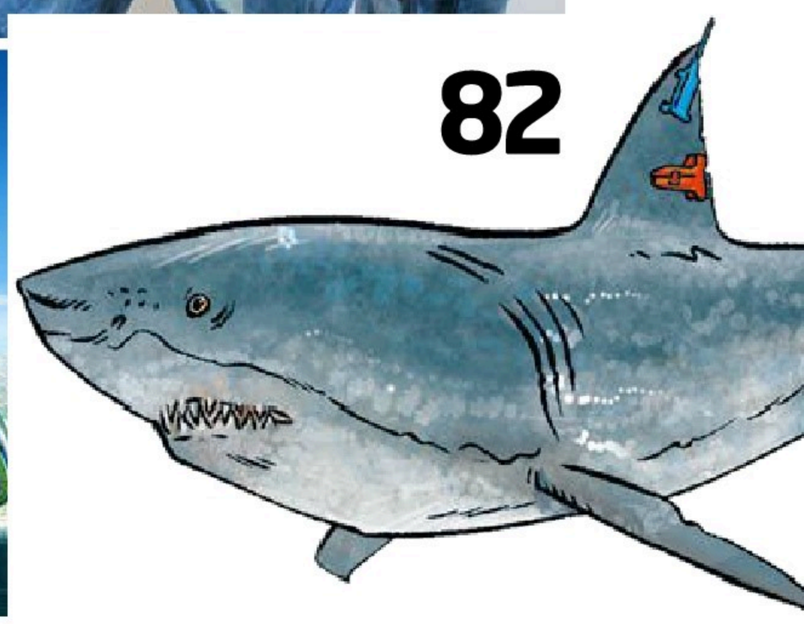
La machine obéit aux neurones et à l'œil //**48**

Exosquelette, un robot prêt-à-porter //**59**

PLUS
Livres, DVD et sites internet //**66**

Retrouvez *Les Dossiers de La Recherche* dans l'émission *La Tête au carré* de France Inter, avec Mathieu Vidard





L'IMPERTINENTE //**44**
Amélie Bohas,
chercheuse à l'université Lyon-III, ose critiquer nos chers téléphones portables

CULTURE LAB 67

BACK TO BASICS //**68**
L'ordinateur quantique
Une puissance de calcul extraordinaire

AGRICULTURE //**72**
Légumes avec vue
Des champs dans la ville : c'est le principe des fermes verticales, de plus en plus nombreuses

TOP 5 //**77**
Les mécènes de la science
Ils mettent leur fortune au service de la recherche

OCÉANS //**82**
Le requin blanc mis sur écoute
Pour protéger les squales en danger, Ocearch étudie leur mode de vie

BIOTECH //**90**
À qui va profiter la biologie de synthèse ?
Des applications qui peuvent faire froid dans le dos

LE GUIDE //**94**
L'actualité culturelle
Livres, films, expos, conférences…

LA QUESTION DE LA FIN //**98**
Les vaches sont-elles moins polluantes que les voitures ?
Le docteur Guique répond

Ce numéro comporte un encart *La Recherche* sur les ventes France et export (hors Belgique et Suisse) ; un encart Edigroup sur les ventes Belgique et Suisse.

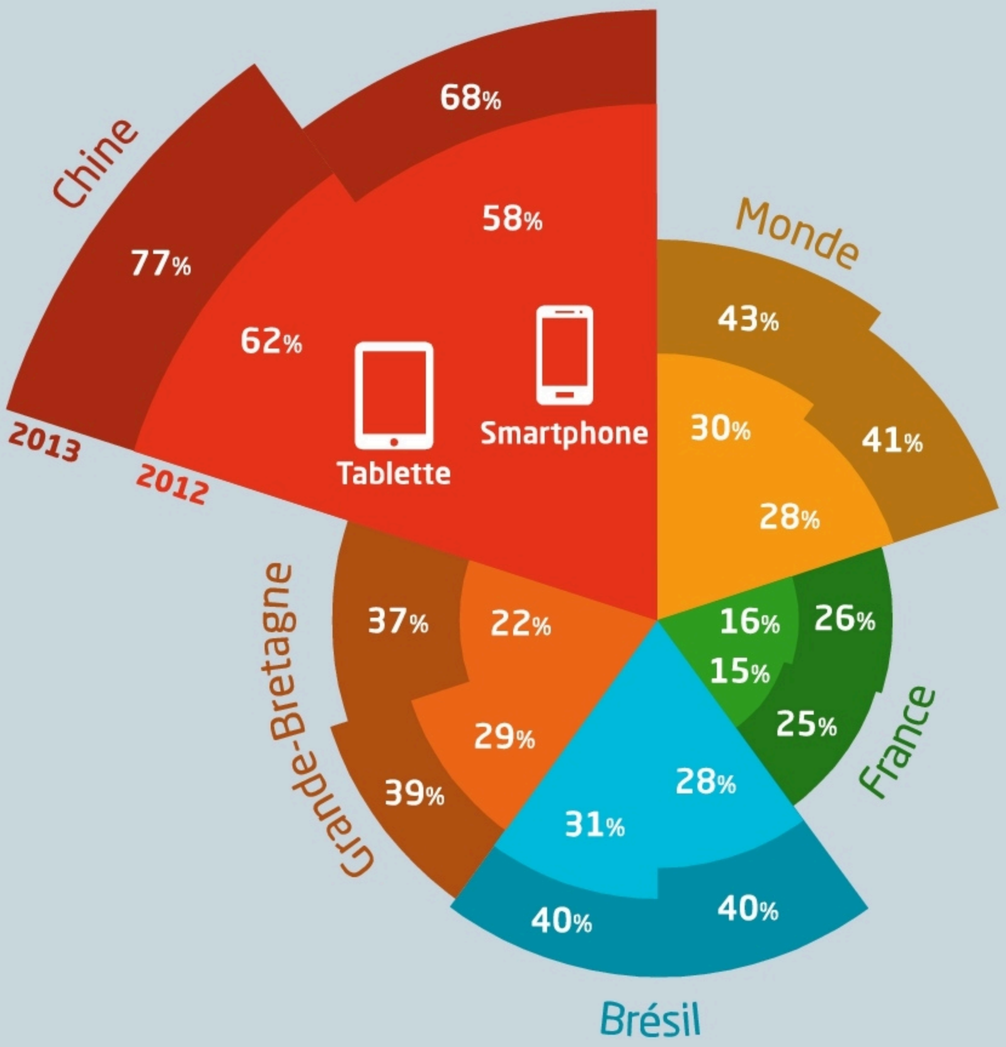
Qui achète quoi sur le

En vingt ans d'existence, le Web a profondément modifié les habitudes des consommateurs et transformé les circuits de distribution. Portrait-robot de ces nouvelles pratiques.

DATA **Denis Delbecq** ILLUSTRATION **Studio V2**

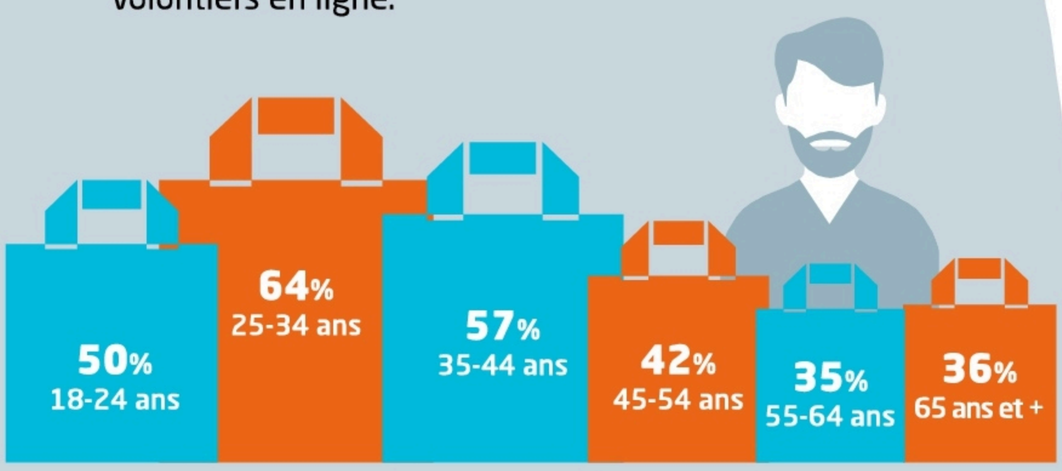
Smartphones et tablettes, nouveaux outils d'achat

Les Français sont particulièrement réticents à utiliser leur smartphone et leur tablette pour l'achat en ligne. Mais cette pratique progresse.



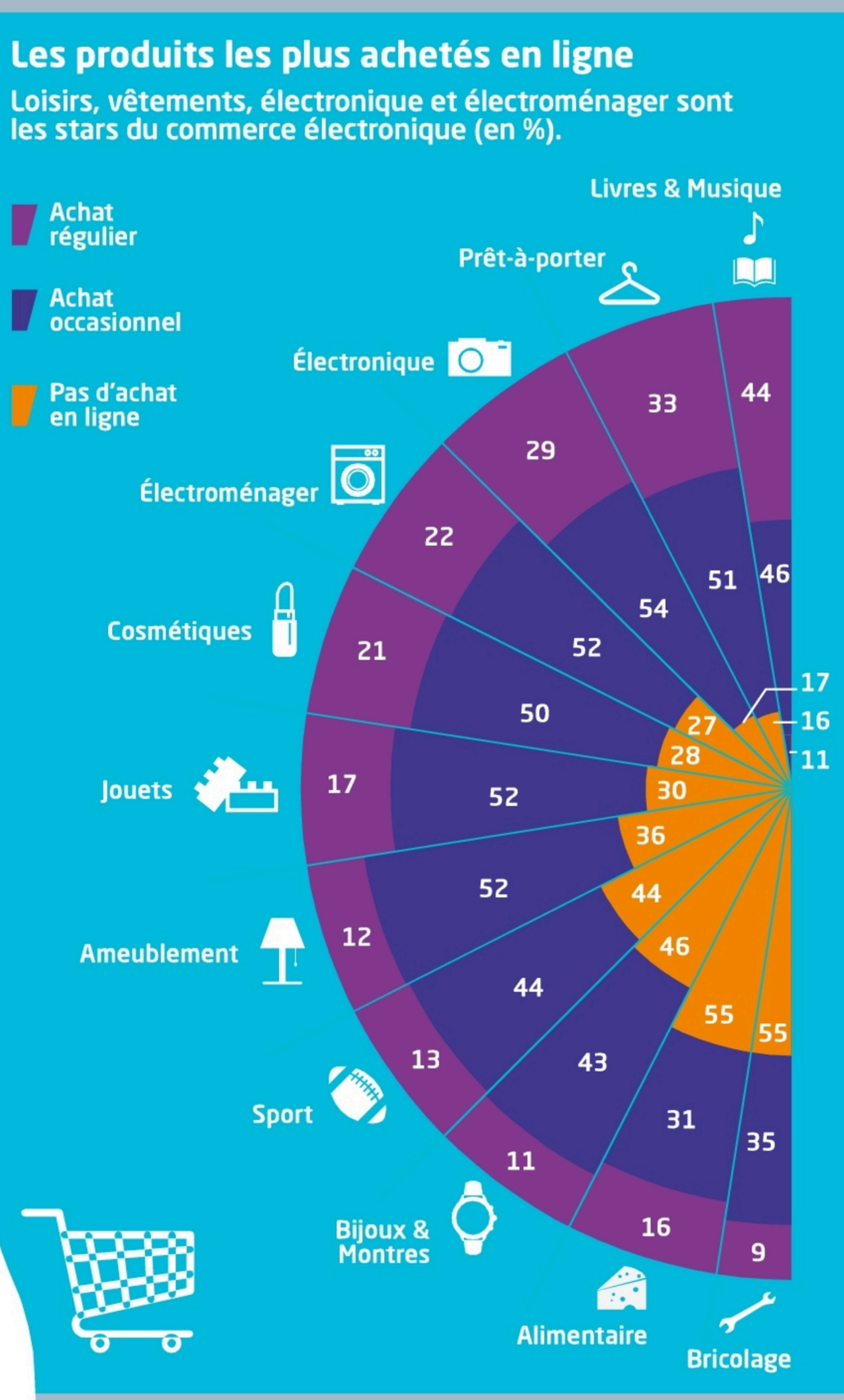
L'achat sur Internet, une question d'âge

La génération des 25-34 ans est celle qui achète le plus volontiers en ligne.



Les produits les plus achetés en ligne

Loisirs, vêtements, électronique et électroménager sont les stars du commerce électronique (en %).



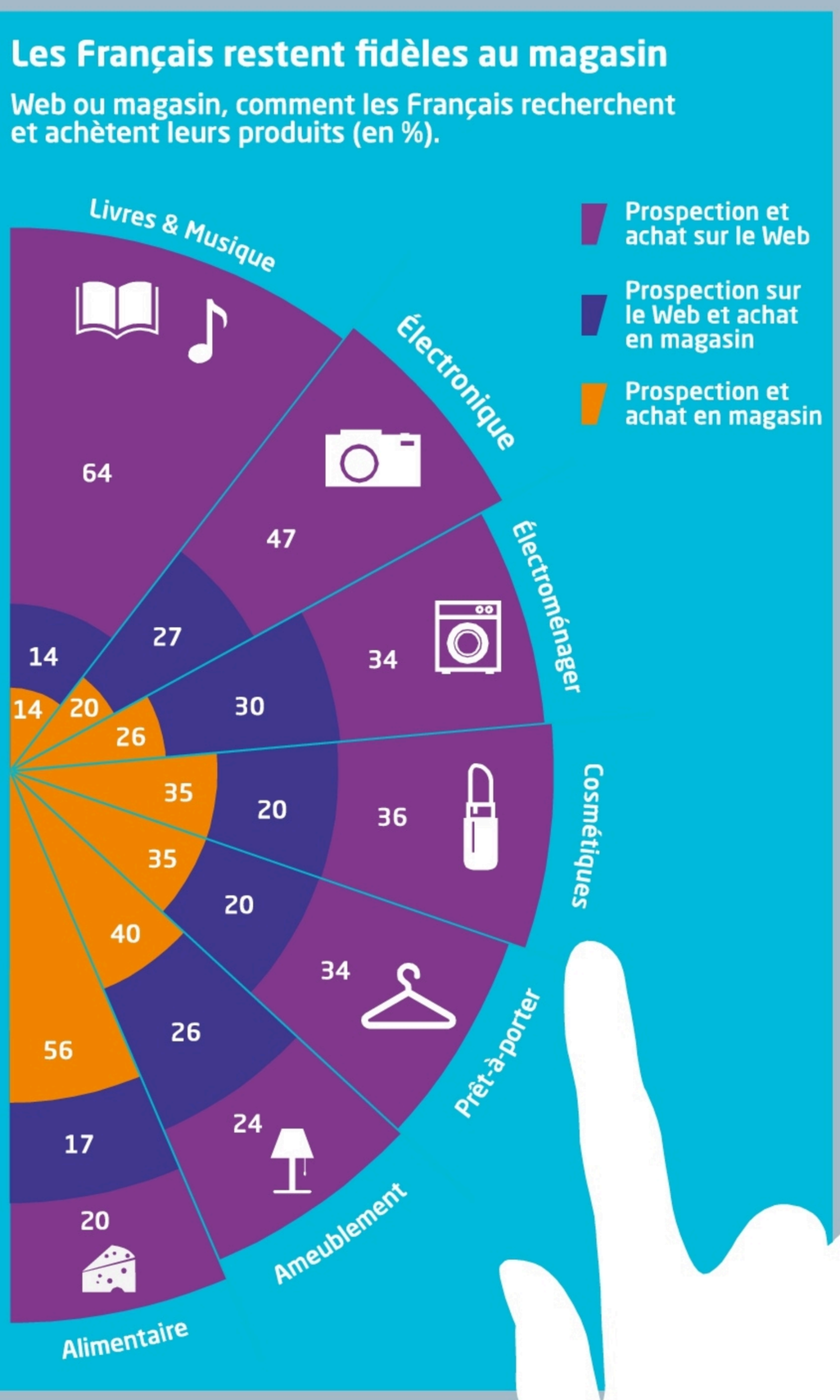
Base : web acheteurs français (1007 personnes interrogées)

Source : Étude mondiale PwC Web-acheteurs 2013.

Net ?

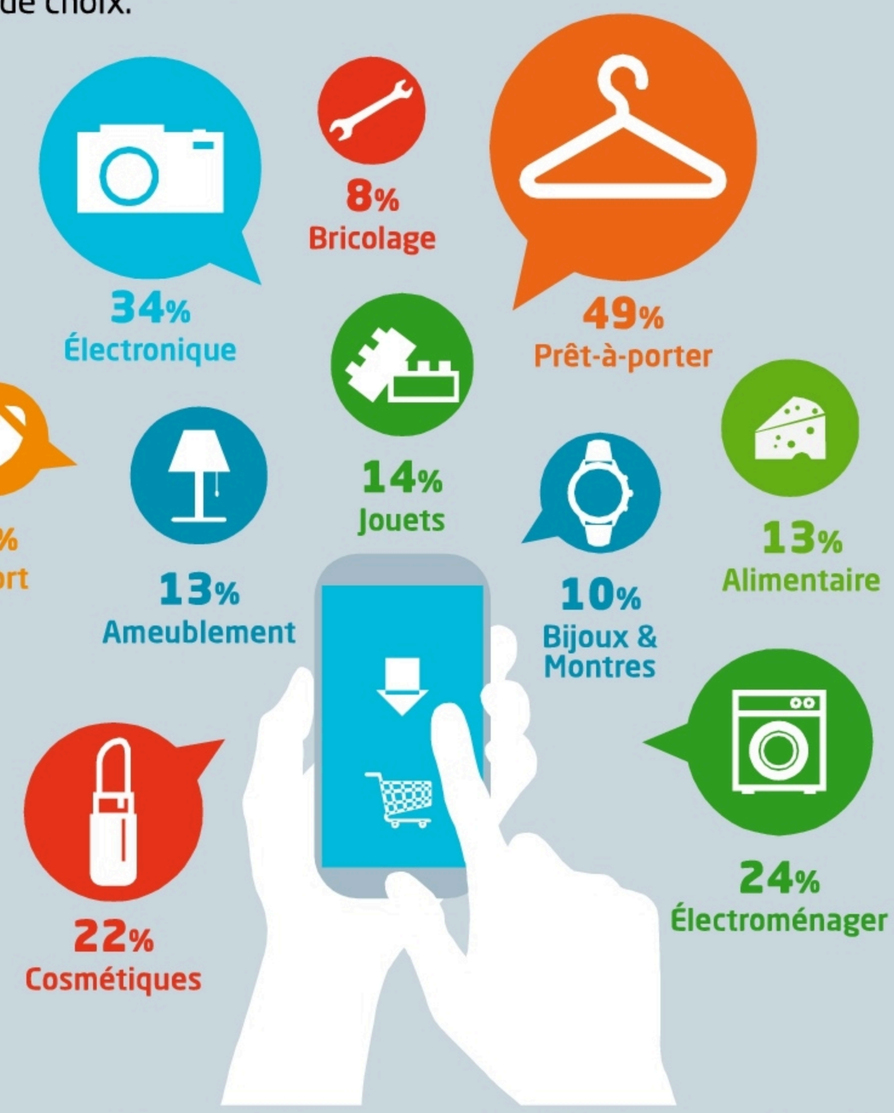
Les Français restent fidèles au magasin

Web ou magasin, comment les Français recherchent et achètent leurs produits (en %).



Achat à la source

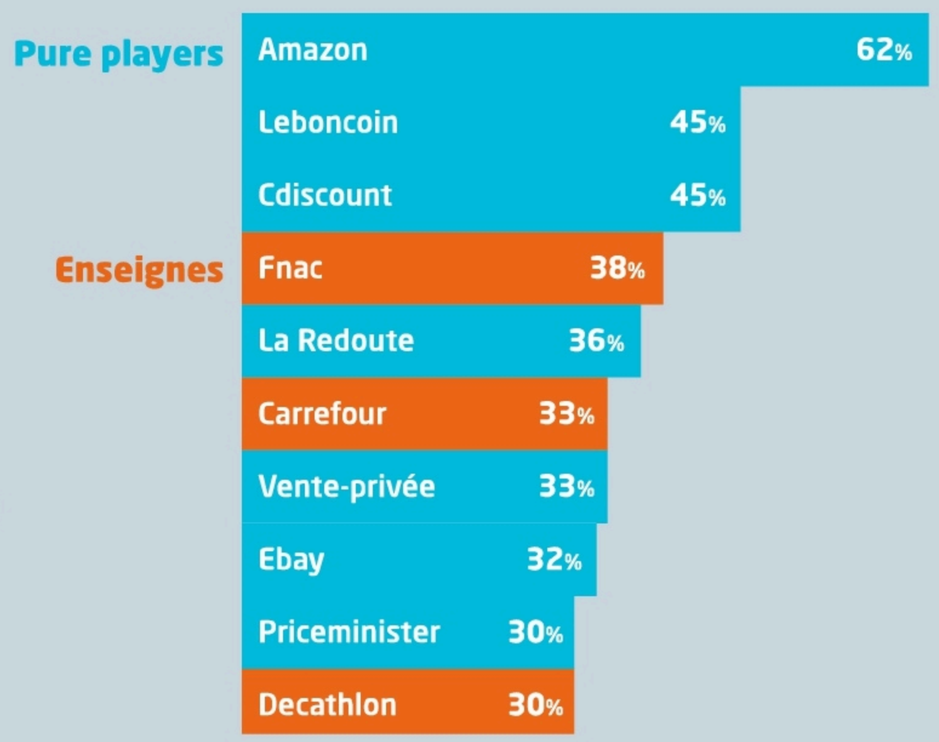
Pour certains produits, les internautes préfèrent acheter directement sur les sites des grandes marques (Apple) plutôt que dans les grandes surfaces multimarques (Darty, Fnac, etc.), pour des raisons de prix, de stock et de choix.



Base : web acheteurs français (797 personnes interrogées).

Les grandes enseignes concurrencées par les pure-players

Sur les dix sites les plus utilisés pour le commerce électronique en 2013, sept sont des sociétés exclusivement présentes en ligne.



Base : web acheteurs français (1 007 personnes interrogées).

FUTUR EN SEINE

cap·digital Paris Region

LE FESTIVAL DU NUMÉRIQUE

DU 12 AU 22 JUIN 2014

MADE WITH*

* Faire ensemble

DU 12 AU 15 JUIN

Cnam, Gaîté lyrique, Musée des arts et métiers

Expositions, conférences, rencontres, actions, business
Pour petits et grands

#FENS2014
292, rue Saint-Martin - 3 bis, rue Papin - Paris 3e

ET JUSQU'AU 22 JUIN

Toute l'Île-de-France

Une centaine d'évènements partenaires

Programme complet :
www.futur-en-seine.fr

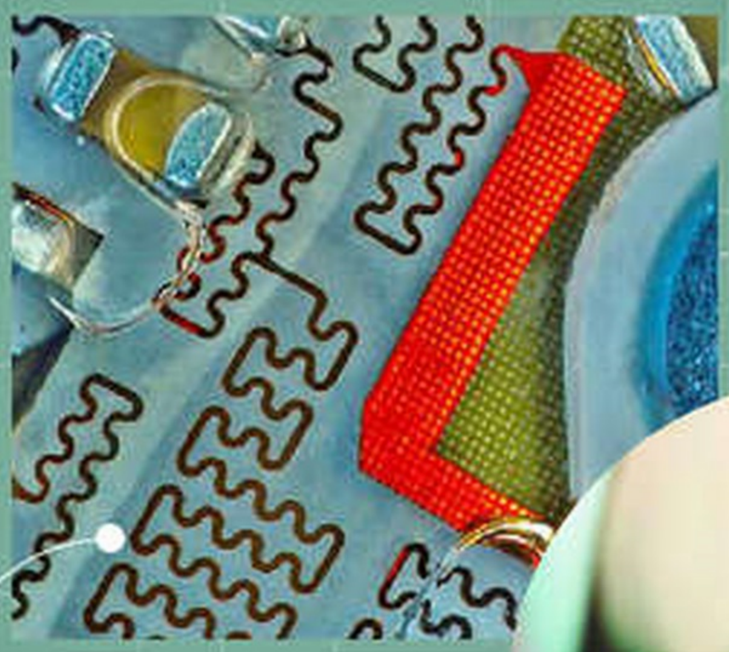
îledeFrance
Demain s'invente ici

MAIRIE DE PARIS · seine saint denis LE DÉPARTEMENT · orange · LA POSTE · JCDecaux · le cnam · gaîté LYRIQUE

TECH TOUR

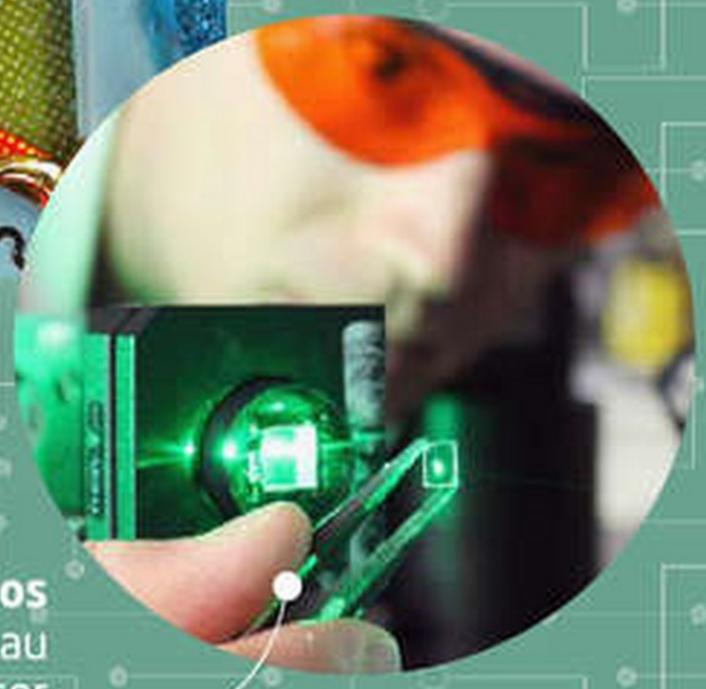
Tendances
De l'impression 3D aux bracelets connectés
> P. 10

Communications
Le Wifi gratuit venu du ciel
> P. 32



Gaming Room
Vinciane Zabban analyse le succès du free-to-play
> P. 42

Santé
Ces patchs qui vont veiller sur vous
> P. 29



L'écho des labos
Un matériau magnétisé par un laser
> P. 36

DR, REPLICATOR, NASA, FELIX FRANKEL, COURTESY LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, VINCENT CARBON • RIOT GAMES.

LES SMARTPHONES VONT SE RECHARGER AU SOLEIL

La société française Sunpartner Technologies a mis au point un composant transparent grâce auquel n'importe quel écran (jusqu'à 13 pouces) devient capable de produire de l'électricité à partir de la lumière, naturelle ou artificielle, qu'il reçoit. Il s'agit d'une couche de cellules photovoltaïques, recouverte de microlentilles qui, par effet optique, rendent les cellules invisibles quand on regarde l'écran. La perte de luminosité est de 10%, ce qui reste correct. La puissance électrique générée suffit pour alimenter les appareils les moins gourmands, comme les liseuses et les mobiles les plus simples. Sur les smartphones, le composant peut recharger la batterie en permanence, pour un gain d'autonomie estimé à 20% au plus, ou bien alimenter une réserve pour sécuriser des fonctions sensibles, comme les billets et les paiements électroniques. Un téléphone Alcatel OneTouch équipé de cette technologie est prévu pour début 2015.

Les cellules photovoltaïques sont bien là mais on ne les voit presque pas. SUNPARTNER TECHNOLOGIES

UN ANTIVOL À TOUT FAIRE

Têtes en l'air, ce bouton pourrait vous changer la vie. Créé par la société écossaise Connect-In, Lupo communique en Bluetooth 4.0 avec les smartphones et les ordinateurs, grâce à une série d'applis. Attaché au trousseau de clés, il sert à le retrouver en émettant un son et en clignotant. Glissé sur le sac à main, il prévient dès que l'objet s'éloigne de son propriétaire. Il verrouille l'ordinateur quand l'utilisateur part déjeuner. Quant à son bouton central, il permet de déclencher à distance l'appareil photo du smartphone ou d'enchaîner les diapositives d'une présentation. Comme il contient aussi un détecteur de mouvement, d'autres usages sont attendus. CONNECT-IN

1,1%

du chiffre d'affaires total de l'édition en France, en 2013, est réalisé par le livre numérique, d'après une étude du cabinet GfK. Cela représente plus de 5 millions de téléchargements. Un score qui atteint 4 à 5% des ventes, voire 10 à 15% pour certains titres, au rayon littérature générale, où la sortie papier se double de plus en plus du format numérique.

Les sportifs et les adeptes des bonnes résolutions ont désormais leur accessoire : le bracelet connecté qui mesure efforts et résultats. LG

LA FORME S'AFFICHE AU POIGNET

Combien de pas avez-vous effectués dans la journée? Combien de calories avez-vous dépensées? Quelle a été la qualité de votre sommeil pendant la nuit? Voilà les principales questions auxquelles répondent les bracelets connectés. Avec leurs capteurs (accéléromètres, gyroscopes), ils détectent les moindres mouvements du corps, qui seront interprétés par un processeur.

Destinés à ceux qui se préoccupent de leur santé, ces bracelets se présentent comme de véritables coachs : pour motiver les utilisateurs, les fabricants ont mis au point des applis et des portails en ligne permettant de se fixer des objectifs, de gagner des points et de partager ses résultats avec ses amis sur les réseaux sociaux. Rien de tel que l'émulation!

Cela vaut aussi pour les fabricants : on compte aujourd'hui une douzaine de modèles, témoins d'une évolution rapide depuis l'apparition des bracelets connectés en 2012. Si le premier du genre, le bracelet Up de Jawbone, donne ses informations via un smartphone, les modèles les plus récents offrent un écran et une connexion Bluetooth.

Et de nouvelles fonctions font leur apparition. Le Vivofit de Garmin peut être associé à une ceinture cardiofréquencemètre. De même, le bracelet Lifeband Touch de LG, bientôt disponible, fonctionne avec les oreillettes LG Heart Rate, lesquelles mesurent le flux sanguin dans l'oreille et en déduisent le rythme cardiaque. On trouve aussi sur certains modèles, par exemple sur le prochain bracelet Nabu, de Razer, la notification de la réception d'appels, de SMS ou d'e-mails, une fonction réservée jusque-là aux montres connectées. Une tendance forte? *« Il y aura une convergence des montres et des bracelets intelligents, les consommateurs ne veulent porter qu'un appareil à leur poignet »*, prédit Daniel Matte, analyste du cabinet Canalys. Flavien Vottero, de Xerfi, confirme : *« Les deux produits sont très proches et vont logiquement fusionner. »* Le mouvement a déjà commencé. Samsung vient ainsi de lancer Gear Fit, version « bien-être » de sa montre connectée, dotée des attributs des bracelets traqueurs d'activité. Toutefois, les deux analystes préviennent : pour séduire le public, les bracelets-montres intelligents devront gagner en autonomie et en précision.

Les nouveaux modèles, comme le Vivofit, donnent les informations sur leur propre écran. GARMIN

PAYER AVEC LE DOIGT

Le dernier Galaxy S5 préfigure-t-il le paiement sur mobile? Le smartphone de Samsung dispose d'un lecteur d'empreintes digitales situé en dessous de l'écran. Rien de nouveau en soi : l'iPhone 5S d'Apple a été le premier à en arborer un en septembre dernier, suivi par le modèle One Max du constructeur taïwanais HTC. Toutefois, le lecteur d'empreintes de ce dernier ne sert guère qu'à le déverrouiller. Et l'iPhone permet de l'utiliser pour s'authentifier et payer, mais seulement sur l'Apple Store. Le fabricant sud-coréen va bien plus loin : il s'est allié avec le service de paiement PayPal. Dès lors, le smartphone S5 peut permettre de payer ses achats chez tous les commerçants proposant PayPal comme moyen de paiement, que ce soit en ligne ou en magasin. Plus besoin de retenir de mot de passe, un glissement de doigt suffit pour régler. Le logiciel à l'intérieur du téléphone envoie alors une clé cryptée unique à PayPal, qui peut ainsi vérifier l'identité du client sans avoir à stocker d'information biométrique sur ses serveurs.

Sur le Galaxy S5, le lecteur d'empreintes digitales permet de s'identifier auprès de PayPal. SAMSUNG, DR

UN ÉCRAN LCD À LA PLACE DU RÉTROVISEUR

Que les bagages s'accumulent dans le coffre et le rétroviseur intérieur de la voiture devient inefficace. Pour une meilleure visibilité en toutes circonstances, le constructeur automobile japonais Nissan a développé un rétroviseur « intelligent ». Le miroir traditionnel est doublé d'un écran LCD de mêmes dimensions, lequel retransmet les images prises par une caméra grand angle située à l'arrière du véhicule. À tout moment, le conducteur peut basculer du miroir à l'image de la caméra.
Le nouveau rétroviseur sera proposé en option au Japon dès l'an prochain. NISSAN

L'archivage en taille XXL

Un nouveau standard de disque optique verra le jour en 2015, ont annoncé Sony et Panasonic. Appelé « Archival disc », il est plutôt destiné à un usage professionnel, pour stocker des données numériques à long terme. Déclinaison des Blu-ray actuels, il offrira d'abord une capacité de 300 Go, puis de 500 Go et de 1 To.

@TWEETS

CHARGEUR UNIVERSEL **À la suite de l'adoption d'une directive européenne, les téléphones portables, GPS, tablettes et autres appareils électroniques devront fonctionner, d'ici à 2017, avec un chargeur universel. Les fabricants devront donc, sous peine d'amende, se conformer à cette nouvelle règle.**

Historia & Quelle Histoire EDITIONS

PRÉSENTENT

ULYSSE

APPLICATION DISPONIBLE LE 10 AVRIL

Disponible sur App Store

DISPONIBLE SUR Google play

amazon apps Disponible sur amazon

3,59 €

L'ODYSSÉE D'ULYSSE
UNE APPLICATION SANS ÉQUIVALENT

L'Odyssée d'Ulysse racontée aux enfants... Une histoire fascinante pour découvrir la fabuleuse épopée du plus célèbre des héros grecs. De la petite île d'Ithaque à la grotte du Cyclope en passant par la guerre de Troie, le beau voyage d'Ulysse ouvre un univers magique idéal pour aller à la rencontre des dieux, des monstres et des héros mythologiques !

15 TABLEAUX ANIMÉS • LA CARTE DE L'ODYSSÉE • DES JEUX • LES PRINCIPAUX DIEUX

UNE FEUILLE DE PAPIER NUMÉRIQUE

Cette liseuse est conçue comme un outil de travail; elle peut donc être annotée. SONY

Remplacer les photocopies distribuées aux étudiants par cette tablette de 7 millimètres d'épaisseur, tel est le rêve de Sony. Le fabriquant espère effectivement doter les universités japonaises de cette « feuille numérique » dont l'écran est proche du format A4 (13,3 pouces). Sa fonctionnalité est limitée: la Digital Paper permet uniquement d'afficher, avec une qualité comparable à celle d'une feuille imprimée, des documents en PDF. Ces derniers peuvent être annotés grâce à un stylet vendu avec la tablette et compatible avec l'encre électronique. La feuille de papier de Sony dispose d'une connexion wifi et d'une capacitié de stockage de 4 GB, l'équivalent de 2 800 fichiers PDF. À l'instar des liseuses électroniques, la Digital Paper est très autonome: un seul cycle de recharge suffit pour trois semaines d'utilisation.

NEIL YOUNG MONTE LE SON

« Honorer l'âme de la musique ». C'est l'objectif que s'est fixé le chanteur canadien Neil Young avec PonoPlayer, un lecteur de musique haute-résolution. Ce dernier lit les fichiers audio Flac (Free Lossless Audio Codec), un format qui contient six fois plus d'informations musicales qu'un fichier MP3 standard.

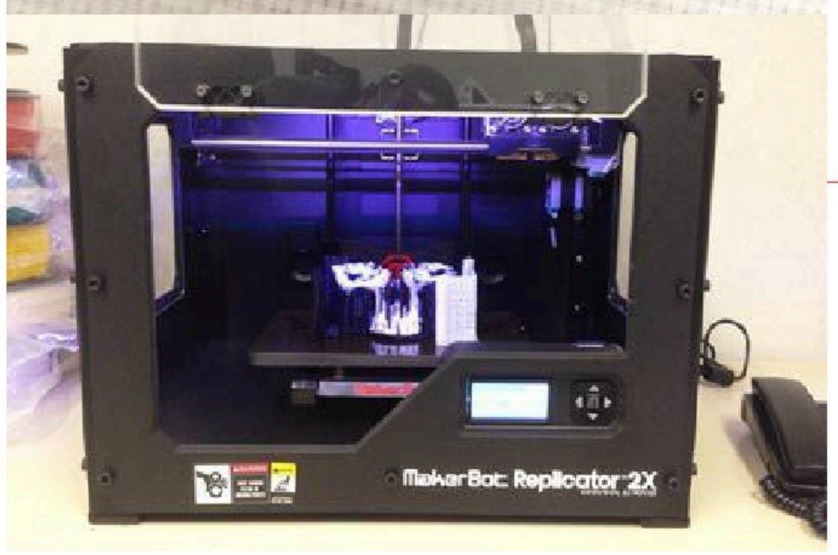
Une qualité sonore à faire pâlir les CD, proche de celle développée en studio. L'appareil est doté de deux sorties audio: l'une pour le casque, l'autre pour brancher la chaîne hi-fi. En parallèle, Neil Young lance PonoMusic, une plate-forme de téléchargement de musique en ligne au format FLAC.

FRANZ KRACHTUS, STEVE GRANITZ/ WIREIMAGE/GETTY IMAGES

...es clés?

Et si l'on pouvait retrouver ses clés avec son smartphone... et vise versa? C'est la fonctionnalité que propose le porte-clés Mykee, présenté à Lyon au Salon de la robotique Innorobo par la start-up française MyKompany. Il suffit pour cela de télécharger l'application gratuite Where's Mykee, compatible avec Apple et Android. Les deux objets se connectent via le Bluetooth 4.0 et une simple pression sur le smartphone fait sonner et clignoter le porte-clés, avec une portée maximale de 50 mètres. Mykee contient jusqu'à quatre clés plates et est doté d'un bouton qui, à l'inverse, peut faire sonner le smartphone.

MYKOMPANY



L'IMPRESSION 3D AIDE LA RECONSTRUCTION FACIALE

L'impression 3D est en passe de bouleverser les pratiques chirurgicales. Au centre hospitalier universitaire de Dijon, le service de chirurgie maxillo-faciale s'est muni d'une imprimante 3D pour modeler avec plus de précision les implants crâniens en titane avant de les greffer sur leurs patients. Pour y parvenir, Narcisse Zwetyenga et son équipe reconstruisent d'abord numériquement le crâne endommagé à partir des scanners du patient. Puis ils impriment une copie conforme en plastique de ce crâne. Cette copie leur sert alors de support pour modeler les plaques de titane avant l'opération. Le tout avec une précision inégalée. De fait, avant l'apparition de cette technologie, les chirurgiens devaient réaliser cette étape de mise en forme sur la table d'opération, directement sur le patient, où ils pouvaient être gênés par la peau ou la graisse. Ce procédé novateur permet également de gagner en moyenne une demi-heure sur l'opération, de quoi limiter les risques d'infection.

La réalisation d'une copie du crâne en 3D permet d'obtenir un meilleur résultat en moins de temps. DR, REPLICATOR

LA MONTRE CONNECTÉE À INTERNET

Enfin une montre connectée qui ressemble à... une montre! Né d'une alliance entre Motorola et Google, la Moto 360 peut, d'u simple commande vocale, rechercher des informations sur le N répondre à des appels, envoyer des SMS ou des e-mails. Elle permet également d'afficher ses rendez-vous, la météo ou enc les horaires de transport via Google Now. MOTOROLA MOBILITY

3,2 secondes pour faire le Rubik's cube

Record battu! Le robot Cubestormer 3, de Lego, a reconstitué toutes les faces d'un Rubik's cube en seulement 3,253 secondes. Il pulvérise ainsi le temps de son prédécesseur, le Cubestormer 2 (5,35 secondes), et surtout le record humain, établi l'année dernière par le Néerlandais Mats Valk, en 5,55 secondes.

PAGES RÉALISÉES PAR
Gautier Cariou et Olivier Lapirot

@TWEETS

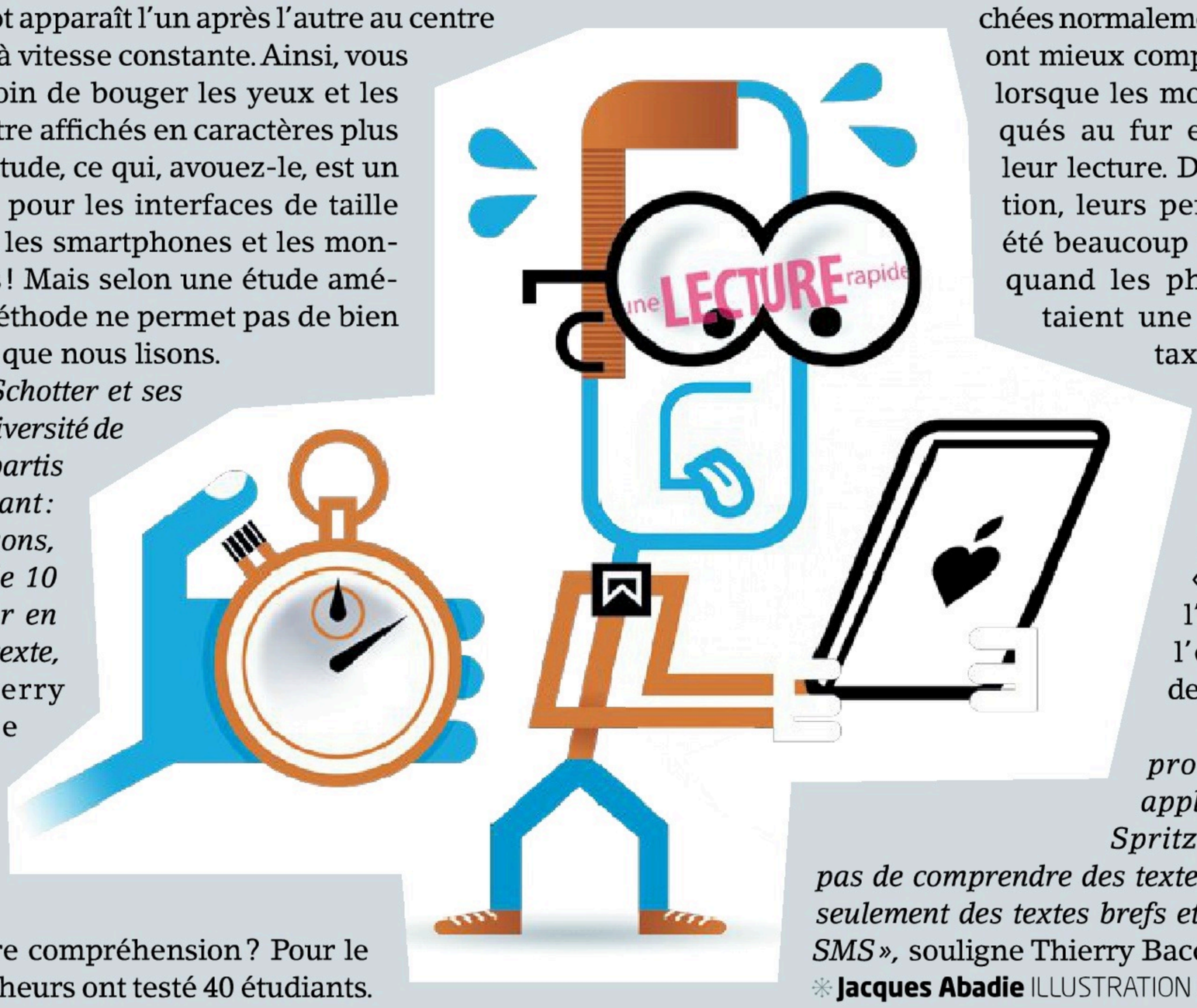
BALLON HIGH-TECH **À l'occasion de la Coupe du monde de football 2014, Adidas a lancé un ballon high-tech, conçu pour filmer des clips promotionnels. Bardé de six caméras HD réparties sur toute sa surface, le ballon Brazuca peut filmer dans toutes les directions à la fois. Les vidéos sont disponibles sur le compte twitter @Brazuca.**

LIRE PLUS VITE… SANS COMPRENDRE !

Vous avez rêvé de lire vite sans avoir le nez collé sur l'écran de votre smartphone ? Spritz l'a fait. Cette application affiche chaque mot l'un après l'autre et en gros caractères. Le tout ultravite. Une super idée ? Oui, sauf que cet affichage nuit à la compréhension du texte.

Lire deux à cinq fois plus vite que la vitesse normale : c'est ce que promettent Spritz et d'autres applications de lecture rapide. Leur principe ? Chaque mot apparaît l'un après l'autre au centre de l'écran, à vitesse constante. Ainsi, vous n'avez pas besoin de bouger les yeux et les mots peuvent être affichés en caractères plus gros que d'habitude, ce qui, avouez-le, est un sacré avantage pour les interfaces de taille réduite comme les smartphones et les montres connectées ! Mais selon une étude américaine, cette méthode ne permet pas de bien comprendre ce que nous lisons.

« *Elizabeth Schotter et ses collègues de l'université de Californie sont partis du constat suivant : lorsque nous lisons, nous passons de 10 à 15 % à revenir en arrière dans le texte,* explique Thierry Baccino, de l'université Paris-VIII. *Or Spritz nous en empêche.* » Cela a-t-il un impact sur notre compréhension ? Pour le savoir, les chercheurs ont testé 40 étudiants.



Ils les ont placés devant un écran d'ordinateur sur lequel étaient affichées des phrases complètes, face à une caméra enregistrant leurs mouvements oculaires. Dans certains cas, la phrase restait affichée normalement. Mais dans d'autres, chaque mot était masqué après que l'étudiant l'avait lu et tournait son regard vers le mot suivant, une situation comparable à l'affichage séquentiel dans Spritz. Il était alors impossible pour le lecteur de relire le texte. À la fin de chaque phrase, l'étudiant devait répondre à des questions visant à évaluer sa compréhension.

Résultat : dans le cas où les phrases restaient affichées normalement, les étudiants ont mieux compris le texte que lorsque les mots étaient masqués au fur et à mesure de leur lecture. Dans cette situation, leurs performances ont été beaucoup plus mauvaises quand les phrases comportaient une difficulté syntaxique et étaient, comme dans Spritz, sans ponctuation, comme dans la phrase suivante : « Pendant que l'homme buvait l'eau débordait des toilettes ».

« *Ces résultats prouvent que des applications comme Spritz ne permettent pas de comprendre des textes élaborés, mais seulement des textes brefs et simples tels les SMS* », souligne Thierry Baccino.

✳ **Jacques Abadie** ILLUSTRATION **Oxolaterre**

NOUVEAU

LA FORMULE DU BONHEUR !

À PARTIR DU 4 JUIN CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX

La machine à anticiper le monde

Étudier les relations internationales en se basant sur les articles de presse : l'idée n'est pas nouvelle. Mais aujourd'hui, les géographes ont à leur disposition l'intelligence artificielle et les big data. Ce qui change tout.

PAR **Clément Delorme**

L'ordinateur du projet Géomédia est un lecteur compulsif. Toutes les trente minutes, 24 heures sur 24, depuis mai 2011, il enregistre les informations internationales mises en ligne par les quotidiens francophones, anglophones et hispanophones de tous les continents. Tensions entre le Rwanda et la France, projet d'annexion de la Crimée à la Russie, guerre en Syrie, rien ne lui échappe. Sa base de données est gigantesque. Elle contient déjà plus de 2,3 millions d'articles issus de 166 journaux et s'enrichit depuis cette année de 10 000 résumés et titres d'article par jour.

Cette machine est plus qu'un collecteur : elle est capable de trier cet amas d'informations. Le but étant de comprendre la façon dont les journaux rendent compte de ce qui se passe dans le monde. Du moins est-ce l'objectif que se sont donné les informaticiens, géographes et spécialistes des médias qui participent à ce projet d'ingénierie des connaissances, initié par le Collège international des sciences du territoire.

Apprendre à l'ordinateur qui est Barack Obama

Mais comment y parvenir ? Un tel vivier de données, constitué à partir de 259 flux RSS émis par les journaux, est inutilisable en l'état par un ordinateur qui ne comprend pas un seul mot des phrases qu'il collecte. De fait, pour un programme informatique, les mots « Obama » ou « Pentagone » ne font pas référence à un pays. Une sacrée tuile quand on s'intéresse aux relations internationales !

Pour repérer les pays cités, France Guérin-Pace, géographe à l'Institut national d'études démographiques, procède donc par ordinateur à l'analyse textuelle statistique du corpus de texte composé des flux RSS. Le but est de voir quels sont les pays les plus cités ou ceux les plus fréquemment associés dans les mêmes

10 000

RÉSUMÉS ET TITRES D'ARTICLES
sont ajoutés chaque jour dans la base de données Géomédia.

L'analyse de la crise syrienne par Géomédia permet d'identifier précisément les pays concernés par le conflit.
HOSAM KATAN/REUTERS

nouvelles. «*Dans mes tableaux, chaque flux RSS constitue une ligne et chaque mot une colonne. À l'intersection, un 1 ou un 0 indique la présence ou l'absence de ce mot dans l'article,* indique la chercheuse. *Une analyse statistique de ce tableau met en évidence des groupes de mots fréquemment utilisés ensemble.*» L'ordinateur a alors, d'une certaine façon, appris qu'«Obama» se réfère aux États-Unis et qu'il faut se méfier du mot «Hollande» qui peut renvoyer, selon qu'il est associé au mot «François» ou «tulipe», à la France ou aux Pays-Bas.

Simplifier au maximum les informations

Certes, la machine chargée de traiter la base de données est maintenant capable de savoir qu'un titre d'article parle d'un pays ou d'un autre. Et même de compter combien de fois le pays en question est cité par article sur une période donnée. Toutefois, «*à ce stade, on en est encore au pétrole brut*», estime Claude Grasland, géographe à l'université Paris-Diderot.
Il faut raffiner alors l'information pour avoir une vision globale et non dans le détail.

Dans le cas de la Syrie, par exemple, l'ordinateur nous apprend quels pays les médias associent au conflit, soit en tant que voisins accueillant des réfugiés (Turquie, Jordanie, Liban…), soit en tant qu'acteurs géopolitiques (Russie, États-Unis, France, Arabie saoudite…). De cette analyse ressortent les forces en présence. Mais attention, cette simplification ne doit pas rimer avec perte d'informations utiles. Il faut trouver le bon compromis pour parvenir à maximiser la simplification, tout en limitant les pertes. Pour réaliser cette tâche, les informaticiens du projet ont mis en place des techniques d'«agrégation supervisée de données». Cela permet de former des groupes, ou «partitions» en langage informatique, réunissant des informations homogènes (par exemple, d'identifier les journaux qui mentionnent la guerre en Syrie quasiment le même nombre de fois dans leurs colonnes). Grâce à un algorithme particulier, il devient possible de réaliser des groupements de façon intelligente et optimisée. Ce qui permet, par exemple, d'analyser la façon dont un journal comme *Le Monde* traite un événement (lire p. 20). Encore faut-il que les agrégations aient

Le Monde

BATAILLE D'INNOVATIONS HIGH-TECH À LAS VEGAS

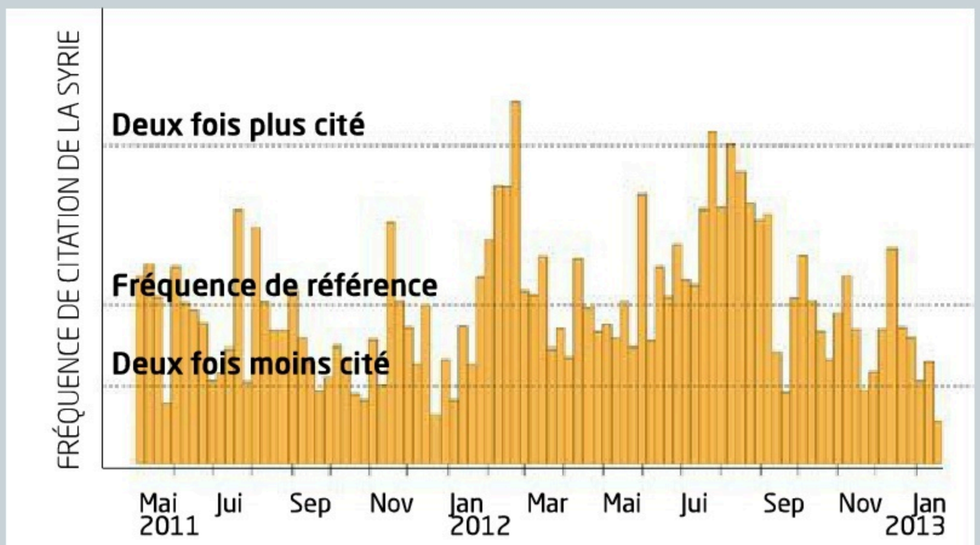
Esther Duflo, la Française qui va conseiller Barack Obama

ÉTATS D'ÂME À L'UMP SUR LE MARIAGE GAY

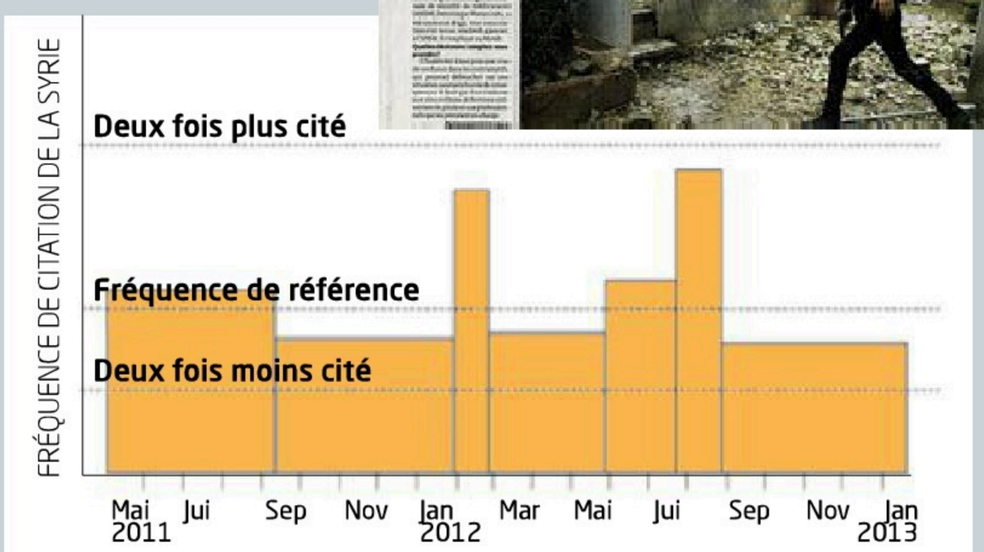
Sauvegarder les acquis de la pilule

En Syrie, dans la mécanique de la guerre

COMMENT *LE MONDE* A TRAITÉ LA CRISE SYRIENNE

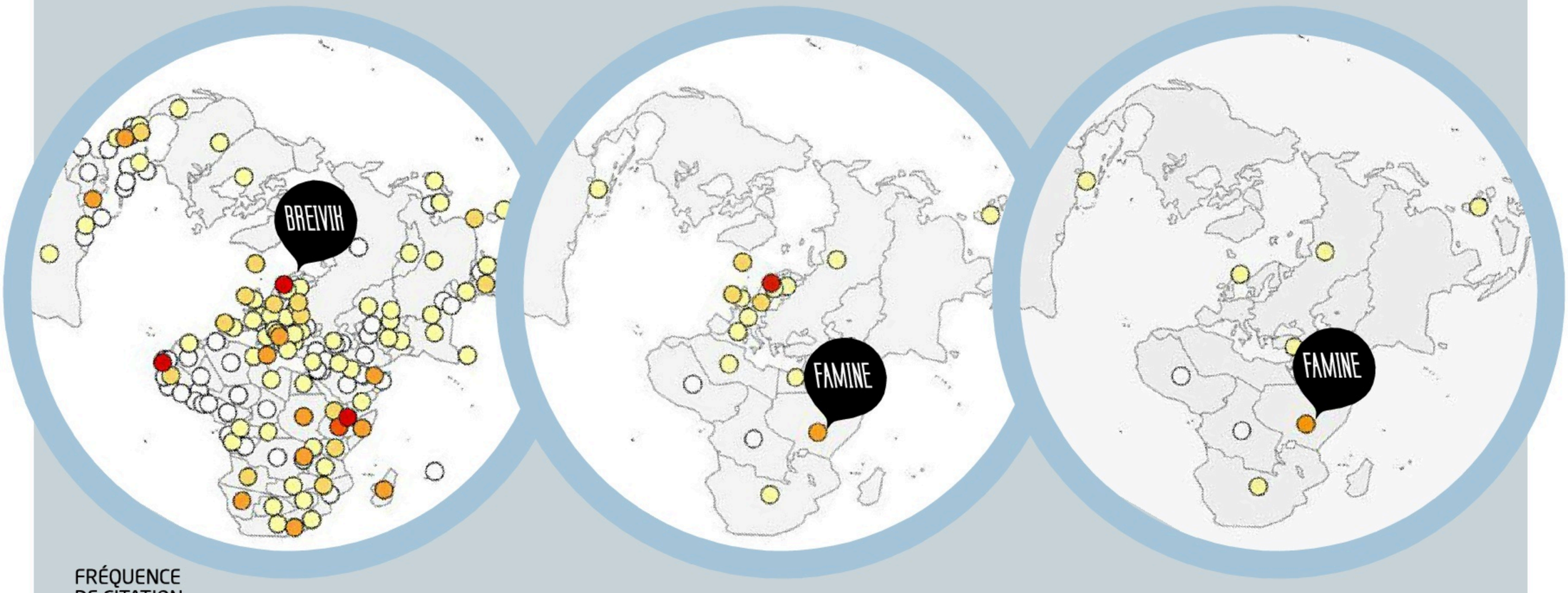


Le journal *Le Monde* a consacré de nombreux flux RSS à la Syrie entre mai 2011 et janvier 2013. Répartis sur 90 périodes, il est difficile d'en tirer une conclusion.



Une agrégation optimale sur 7 périodes révèle que, passé la phase d'intérêt initial pour le conflit, l'attention du *Monde* s'affaiblit. Elle ne remonte qu'à l'occasion des massacres de début 2012 puis des grandes batailles entre le pouvoir et l'opposition pour le contrôle de Homs et d'Alep (été 2012).

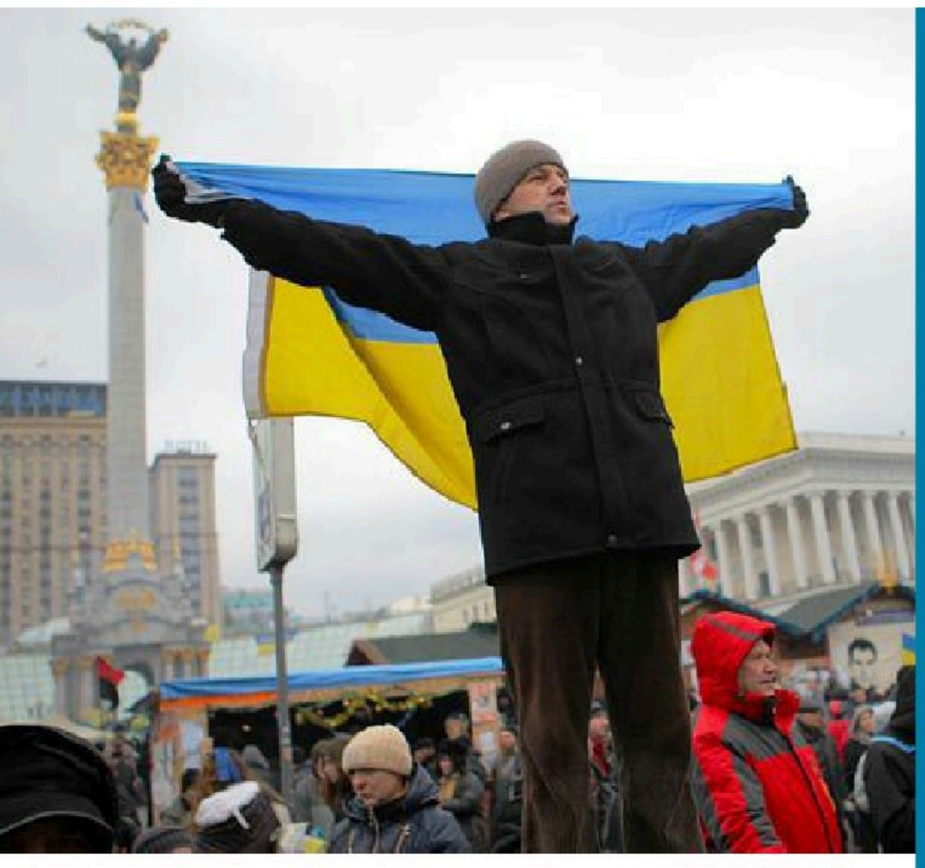
L'ACTUALITÉ SAILLANTE DU *GUARDIAN* PENDANT LE MOIS DE JUILLET 2011



Tous les pays cités dans les articles du *Guardian* sont épinglés.

Après une agrégation spatiale faible, deux événements particulièrement traités apparaissent, l'attentat d'Anders Breivik en Norvège et la famine dans le Nord-Est africain, et 30 % d'informations sont perdues.

En affinant un peu plus l'analyse (70 % d'informations perdues), l'événement norvégien est noyé dans l'actualité calme de l'Europe. La famine dans la Corne de l'Afrique, en revanche, événement qui concerne plusieurs pays, apparaît toujours.



Le traitement médiatique de l'Ukraine pourrait donner des clés pour l'avenir. ARTEM SLIPACHUK/ANADOLU AGENCY/AFP

MIEUX PRÉVOIR LES CONFLITS

Quelle est la probabilité qu'un conflit éclate entre l'Ukraine et la Russie ? Entre les États-Unis et la Chine ? Pour estimer ces éventualités, les sociologues ont l'habitude d'étudier plusieurs paramètres indicateurs du déclenchement d'un conflit. Par exemple, il est intéressant de connaître la puissance de chaque pays concerné, définie par le PIB par habitant, le budget de son armement, le personnel militaire, mais aussi son niveau de démocratie, noté entre -10 (la Corée du Nord), et +10 (la Suisse), ainsi que le temps écoulé depuis le dernier conflit. Cependant, nombreux sont les cas dans lesquels les conditions seraient réunies pour qu'une guerre se déclenche. Et pourtant, rien ne se passe.

Pour Thomas Chadefaux, politologue à l'Institut fédéral de technologie de Zurich, en Suisse, ces méthodes structurelles de prévision d'un conflit ne permettent que d'identifier des « poudrières », mais pas l'étincelle qui viendra mettre le feu aux poudres. Pour dépasser cette limite, le chercheur propose donc d'ajouter à cette analyse un paramètre qui serait plus conjoncturel : la fréquence de la mention de mots associés à la guerre (tension, combat…) dans les journaux mondiaux.

En étudiant un siècle de presse en anglais (de 1900 à 2001) et en livrant une base de données Google à l'analyse sémantique, Thomas Chadefaux a vérifié la validité de son modèle sur les conflits du Koweït (1990) et de l'Afghanistan (2001) à partir des articles de journaux les ayant précédés. *« Avec ce paramètre supplémentaire, le risque estimé de guerre est plus fiable »*, explique le chercheur. À terme, ce type de travaux pourrait permettre d'anticiper (et peut-être d'éviter) des conflits un à deux ans à l'avance. Afin d'affiner le modèle, le politologue s'intéresse désormais aux fluctuations de la Bourse, très sensible aux conflits.

du sens d'un point de vue géographique et historique. Pour cela, Robin Lamarche-Perrin, informaticien post-doctorant à l'institut Max-Planck de Leipzig, en Allemagne, a dû imposer à son algorithme un certain nombre de contraintes de départ. Par exemple, il a interdiction de regrouper des pays qui ne sont pas voisins ou des périodes de temps qui ne sont pas consécutives. « *De plus,* précise-t-il, *notre base de données va permettre de choisir le niveau de complexité (ou le taux d'agrégation) que l'on souhaite. On peut attribuer dès le départ, en fonction de la finesse de l'information que l'on cherche à obtenir, un paramètre compris entre 0 (complexité maximale, agrégation nulle, pas de perte d'information) et 1 (simplification maximale, agrégation totale, perte de l'information microscopique).* » Le rôle de l'algorithme va donc être, pour chaque valeur du paramètre, de trouver la meilleure agrégation possible, à la manière d'une équipe de photographes qui prendrait à la fois des vues d'ensemble et les détails notables pour immortaliser une scène.

Deux types d'agrégation sont possibles, spatiale ou temporelle. « *L'agrégation spatiale permet de former, à partir des articles analysés, des ensembles géographiques partageant des événements, qu'ils soient politiques ou économiques par exemple,* ajoute Claude Grasland. *Nous pouvons ainsi déterminer des "continents médiatiques", des groupes de pays souvent associés dans l'actualité et qui ne correspondent pas aux limites classiques des manuels scolaires.* »

Un électrocardiogramme de l'attention médiatique

Les termes comme « Europe » ou « Asie du Sud-Est » ne sont pas nécessairement corrélés suivant ce que l'on souhaite observer (économie, démographie…). Ainsi, si l'Union européenne comporte bien une unité économique, ce n'est pas toujours le cas de l'Europe au sens plus large, dont les contours sont plus flous. De même, le Mexique est rattaché à l'Amérique du Nord ou à l'Amérique latine. Le projet Géomédia devrait permettre de trancher.

L'agrégation peut aussi se faire sur l'échelle du temps, en rassemblant les périodes où un pays est cité un même nombre de fois dans les journaux. Ainsi, on obtient une sorte d'électrocardiogramme de l'attention médiatique. Plat la plupart du temps, quand le nombre de citations est constant en fonction du temps, ou présentant des pics quand un événement majeur est très médiatisé. « *Une des perspectives de Géomédia est de construire une sorte de baromètre de l'attention médiatique qui pourrait alors nous servir pour prédire si cette attention va croître ou diminuer en fonction des jours précédents,* conclut Robin Lamarche-Perrin. *C'est un objectif très ambitieux qui va nous demander d'étudier des corrélations encore plus complexes que les corrélations spatiales et temporelles.* »

Menaces sur l'Internet libre et ouvert

Faudra-t-il bientôt payer plus cher pour bénéficier des pleines capacités du réseau Internet ? La question est au cœur du débat qui se tient actuellement dans les instances européennes.

PAR **Stéphane Viossat** ILUSTRATION **Adrià Fruitòs**

Le 3 avril dernier, une vague de tweets lancés par les défenseurs d'une certaine conception de l'Internet a submergé le réseau social en quelques minutes. Un immense « ouf » de soulagement après le vote en première lecture du rapport sur le marché unique des télécommunications par le Parlement européen. Ce texte qui s'impose aux États membres est un ensemble de règles concernant les réseaux de communication et de téléphonie fixe, mobile et Internet. Parmi ces règles se trouve la nécessité de garantir un accès égal pour tous à Internet, de protéger ce qu'on appelle la neutralité du Net. Un état de fait qui peut paraître naturel et dont le principe a pourtant été âprement discuté ! Ainsi, pour la première fois, la façon dont Internet doit fonctionner en Europe est clairement définie. Et cette définition est stricte et contraignante pour les fournisseurs d'accès qui se donnent d'ores et déjà rendez-vous pour un deuxième round de négociations.

1 Quelles limites sont désormais posées aux fournisseurs d'accès ?

Depuis le vote du 3 avril, les fournisseurs d'accès à Internet (FAI) ont pour obligation de connecter les internautes « conformément au principe de la neutralité de l'Internet ». Une notion à laquelle l'Europe vient de donner une définition officielle : il s'agit du « *principe selon lequel l'ensemble du trafic Internet est traité de façon égale, sans discrimination, limitation ni interférence, indépendamment de l'expéditeur, du destinataire, du type, du contenu, de l'appareil, du service ou de l'application* ».

Ce fameux principe est pourtant vieux comme Internet, et il

est appliqué par défaut depuis les débuts du réseau. Pour le comprendre, il faut se représenter Internet comme une multitude de tuyaux dans lesquels circulent des données. Les fournisseurs d'accès, propriétaires de ces tuyaux, ont interdiction d'appliquer une différence de traitement en fonction de la nature des données, quels qu'en soient la destination, la source ou le contenu. Par exemple, un FAI ne doit pas faire circuler les contenus de Dailymotion en priorité, même s'il est partenaire du site de vidéos. Et il n'est pas question qu'il bride le concurrent YouTube parce qu'il n'a signé aucun accord. De même, un service de téléphonie sur Internet ne doit pas être limité quand l'internaute y accède via un téléphone mobile. Et les internautes sont libres d'utiliser à leur gré les réseaux peer-to-peer qui sont tout à fait légaux.

Tout cela signifie que, à l'instar de La Poste qui n'a pas le droit d'ouvrir le courrier des usagers, les fournisseurs d'accès n'ont pas à se mêler du type de données qu'ils font transiter. Ni d'interférer sur le contenu du flux. Par exemple, « recompresser » les images de sites web afin de les rendre moins volumineuses, comme SFR a été accusé de le faire sur son réseau mobile 3G, est interdit.

2 La neutralité du Net est-elle appliquée partout ?

La neutralité du Net recouvre des réalités diverses ! Les démocraties y sont en général attachées, les régimes totalitaires ou autoritaires beaucoup moins. Ainsi, on se rappelle du rôle joué par les réseaux

En juin 2013, des Singapouriens sont descendus dans la rue pour défendre la liberté d'expression, menacée selon eux par les nouvelles règles d'attribution de licences pour les sites d'information. EDGAR SU/REUTERS

sociaux lors du Printemps arabe. Déjà fortement censuré avant les révoltes, Internet fut, en Tunisie, en Égypte et en Libye, la cible de tentatives gouvernementales de coupures totales ou partielles. Récemment, Twitter puis YouTube ont été censurés en Turquie.

De son côté, la Chine, désireuse de contrôler finement ce qui s'échange sur la Toile, a mis en place dès 2003 le Grand Firewall Chinois appelé «Bouclier d'or», un projet de surveillance et de censure généralisé d'Internet piloté par le ministère de la Sécurité publique de la République populaire. Une vue fort peu compatible avec la neutralité du Net… Plus proche de nous, la Russie permet explicitement aux opérateurs d'influer sur l'accès des internautes afin d'empêcher que ceux-ci ne perturbent le réseau.

Dans les États démocratiques, la plupart des gouvernements rappellent leur attachement au principe de neutralité du Net. Ils sont d'ailleurs de plus en plus nombreux à le garantir dans leurs lois. C'est le cas depuis 2010 au Chili, suivi en 2012 par les Pays-Bas, en 2013 par la Slovénie, et il y a quelques semaines par le Brésil. Partout ailleurs, des propositions de loi ont été déposées et discutées, sans pour autant aboutir à des votes.

Quid de la France ? La réflexion est engagée depuis 2009. Mais si le Conseil national du numérique, saisi en 2013 par Fleur Pellerin, alors ministre chargée de l'Économie numérique, a rendu un avis recommandant au gouvernement de voter une loi garantissant la neutralité du Net, la proposition n'a toujours pas été déposée.

Tous les fournisseurs d'accès en Europe sont favorables à la mise en place de «services privilégiés», comme aux États-Unis

Aux États-Unis, la neutralité du Net est aussi une réalité. Mais le mouvement contestataire, qui existe depuis bien longtemps, vient de gagner en intensité. Le 14 janvier dernier, Verizon, premier opérateur du pays, a obtenu gain de cause devant la cour d'appel du district de Columbia. L'opérateur avait contesté les règles établies par l'autorité de régulation des communications, la Federal Communications Commission (FCC), afin de préserver la neutralité du Net. À la suite de cette décision de justice, de fait, la neutralité du Net n'existe plus aux États-Unis. Les opérateurs peuvent désormais proposer légalement des accès différenciés, avec des tarifs privilégiés pour certains sites ou services. La FCC a annoncé une riposte, mais le combat contre la puissance économique des opérateurs risque d'être difficile.

3 Pourquoi proposer un accès différencié au Net ?

La création de voies plus ou moins rapides présente avant tout un attrait financier. Comme Verizon aux États-Unis, tous les fournisseurs d'accès en Europe, y compris en France, sont favorables à la mise en place de «services privilégiés». Il s'agit de faire passer en priorité certains flux, qui dépendent d'accords économiques entre un fournisseur d'accès et un fournisseur de contenu, comme YouTube ou Deezer, par exemple. Ce type d'accords serait, selon la Fédération française des télécoms ou l'Association des fournisseurs d'accès européens (Etno),

MATHIEU VIDARD

LA TÊTE AU CARRÉ
DU LUNDI AU VENDREDI DE 14H À 15H

DONNEZ VOS OREILLES À LA SCIENCE

Sciences dures, du vivant ou humaines, Mathieu Vidard s'intéresse à toutes les observations et les expérimentations scientifiques avec éclectisme et pédagogie.
Et chacun comprend mieux le monde qui l'entoure.

LES DOSSIERS DE LA Recherche
WWW.LA RECHERCHE.FR
DLR

france inter
LA VOIX EST LIBRE
franceinter.fr

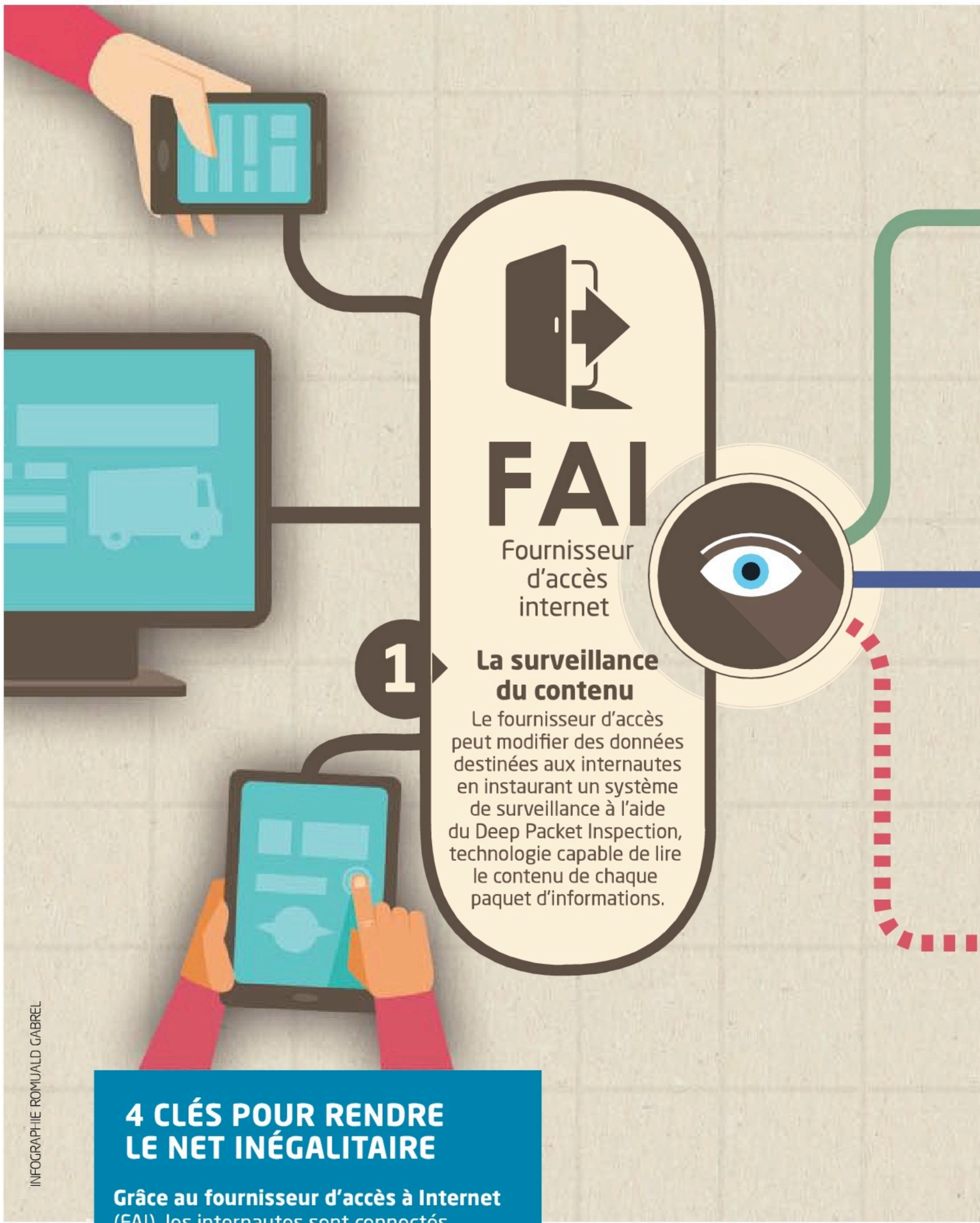
AMSTRALIE - R.C.S. Paris B 378 899 363.

le moyen de permettre à l'Internet de rester concurrentiel et source d'emplois… Ces arguments mettent souvent les gouvernements dans une position ambivalente : favorables à la neutralité lorsqu'elle touche à la liberté d'expression, ils rejoignent le point de vue des fournisseurs d'accès sur la nécessité de prévoir des exceptions !

La réaction de ces fournisseurs d'accès au vote du Parlement européen est emblématique : tout en se voulant un soutien au principe de neutralité du Net, ils considèrent le résultat du vote comme dommageable et appellent à réagir. Ils avancent que « *certaines dispositions votées par le Parlement européen révèlent de graves incompréhensions quant au fonctionnement physique et technique des réseaux et de l'Internet* ». Mais surtout, ils considèrent le résultat comme une « *menace pour l'investissement et l'innovation en Europe* ». De son côté, l'Etno voit dans ce vote un « *pas dans la mauvaise direction* ».

4 Des entorses à la neutralité sont-elles nécessaires ?

En pratique, les interventions sur les flux sont absolument indispensables pour garantir le bon fonctionnement d'Internet. C'est ce qui justifie, selon les fournisseurs d'accès, une remise en question du vote européen. Comme sur tout échangeur d'autoroute surchargé, Internet connaît en effet de nombreux bouchons qui, pour être supprimés, impliquent de tordre le cou à la neutralité du Net. Première entorse ? Lors de pannes

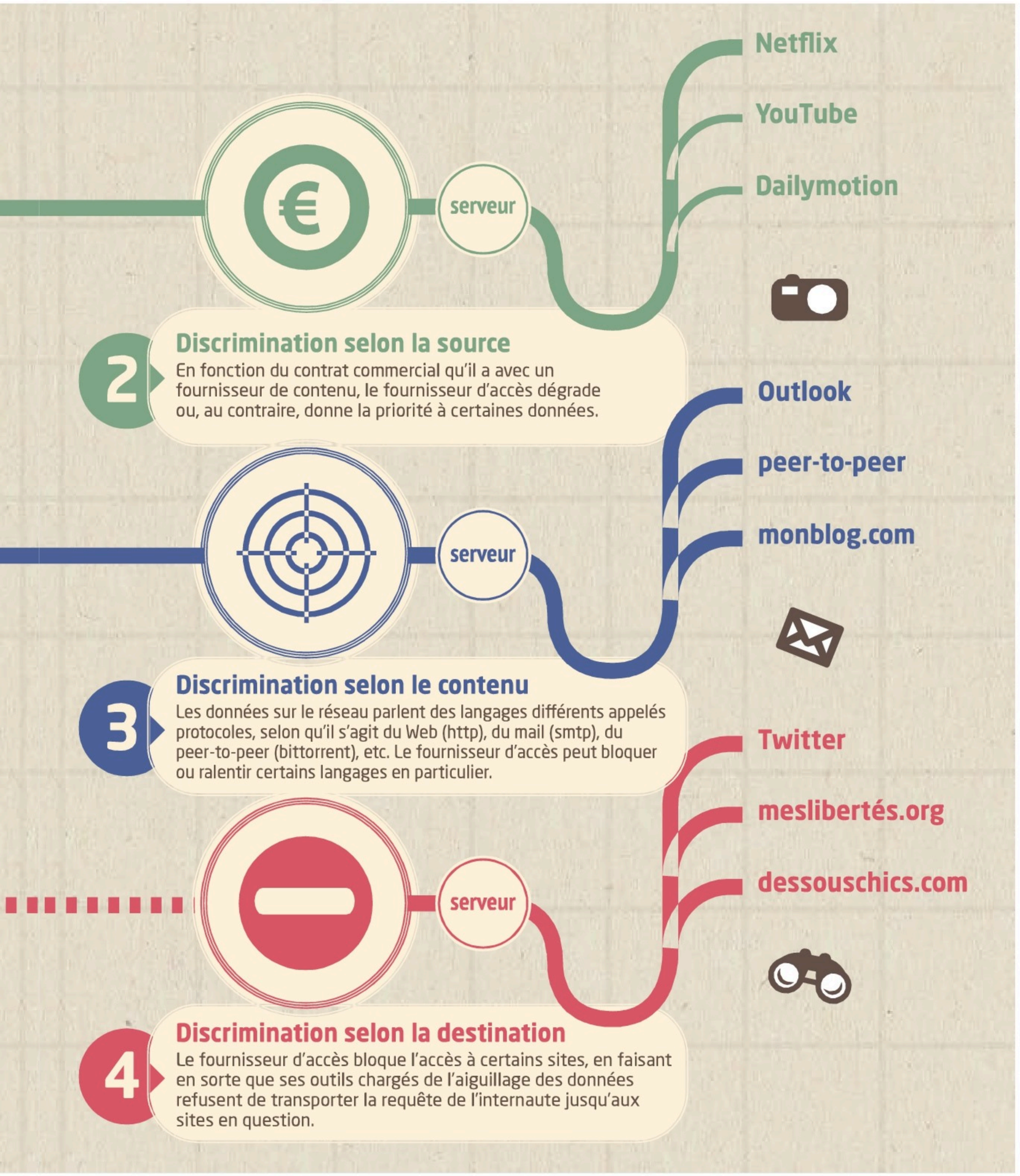


INFOGRAPHIE ROMUALD GABREL

4 CLÉS POUR RENDRE LE NET INÉGALITAIRE

Grâce au fournisseur d'accès à Internet (FAI), les internautes sont connectés au réseau. C'est en effet par lui que passe chacune de leurs requêtes (envoi d'informations, réception de messages, consultation de sites). Sa mission ? Effectuer correctement l'aiguillage des flux de données en veillant à leur intégrité.

Le FAI bafoue la neutralité du Net lorsqu'il effectue l'une de ces quatre actions : la surveillance du contenu ; la discrimination selon la source ; la discrimination selon le contenu ou la discrimination selon la destination.



matérielles ou logicielles des infrastructures d'Internet, il faut changer artificiellement le cheminement naturel des données. Deuxième entorse ? Lors des attaques par déni de service (DDoS), le fournisseur d'accès bloque les millions de requêtes envoyées par des pirates pour saturer et bloquer un réseau. Il fait aussi barrage automatiquement à l'immense majorité des e-mails qui ne sont que du spam !

Ces interventions nécessitent-elles pour autant de rendre caduque le vote du 3 avril ? Pas forcément, car le texte adopté autorise celles qui sont destinées à assurer le bon fonctionnement du réseau. De façon plus subtile, certains flux nécessiteraient toutefois, en raison de leur contenu, un traitement particulier : l'exemple de la télémédecine est souvent avancé par les fournisseurs qui doivent garantir la sécurité et la fiabilité du flux. Des exemples qui ne peuvent être écartés facilement, tout comme ne peuvent être oubliées les velléités des États d'empêcher l'accès à des sites illicites, comme les sites pédopornographiques.

5 Qui veut préserver l'accès universel au Net ?

Ardent défenseur de cette neutralité, le créateur du Web lui-même, Tim Berners-Lee, appelle au vote de lois numériques dans tous les pays afin de défendre « l'ouverture et la neutralité » du système créé il y a vingt-cinq ans. Techniquement, il considère que ce sont ces deux facteurs qui ont permis l'émergence et le succès du réseau. C'est l'absence d'élément centralisé et de contrôle sur les flux qui a rendu possible l'innovation technologique.

Farouchement militante, La Quadrature du Net, association française de défense des droits et des libertés sur Internet, rappelle que si les FAI en viennent à proposer des services privilégiés, par exemple un accès « plus rapide » à tel service pour tel forfait spécifique, on ira vers la mise en place progressive d'un Internet à péage. Et, selon l'association, « *seuls les utilisateurs d'Internet en mesure de payer un accès privilégié pourront bénéficier des pleines capacités du réseau* ». Selon Catherine Trautmann, eurodéputée socialiste fortement impliquée et auteure de

l'amendement définissant précisément la neutralité du Net, s'il faut donner aux fournisseurs d'accès « *la possibilité d'investir et d'innover en développant de nouveaux services* [...] *la qualité de l'Internet de base, tel que nous le connaissons, ne doit en aucun cas être dégradée au profit des services payants* ». Cela ne pourrait aboutir qu'« *à la création d'un Internet à deux vitesses qui discriminerait les foyers à revenus les plus modérés, déjà fortement touchés par la crise* ».

Quant à l'importance de la neutralité du Net pour les libertés fondamentales, dont la liberté d'expression, Tim Berners-Lee l'a clairement défendue dans les colonnes du *Guardian* début mars : « *Sans un Internet ouvert et neutre sur lequel nous pouvons nous appuyer sans nous inquiéter de savoir qui tire les ficelles en coulisses, nous ne pouvons pas avoir de gouvernement ouvert, une bonne démocratie, un bon système de santé, des communautés soudées et la diversité culturelle. Ce n'est pas naïf de penser que nous pouvons avoir tout ça, mais c'est naïf de penser que nous l'obtiendrons en restant les bras croisés.* »

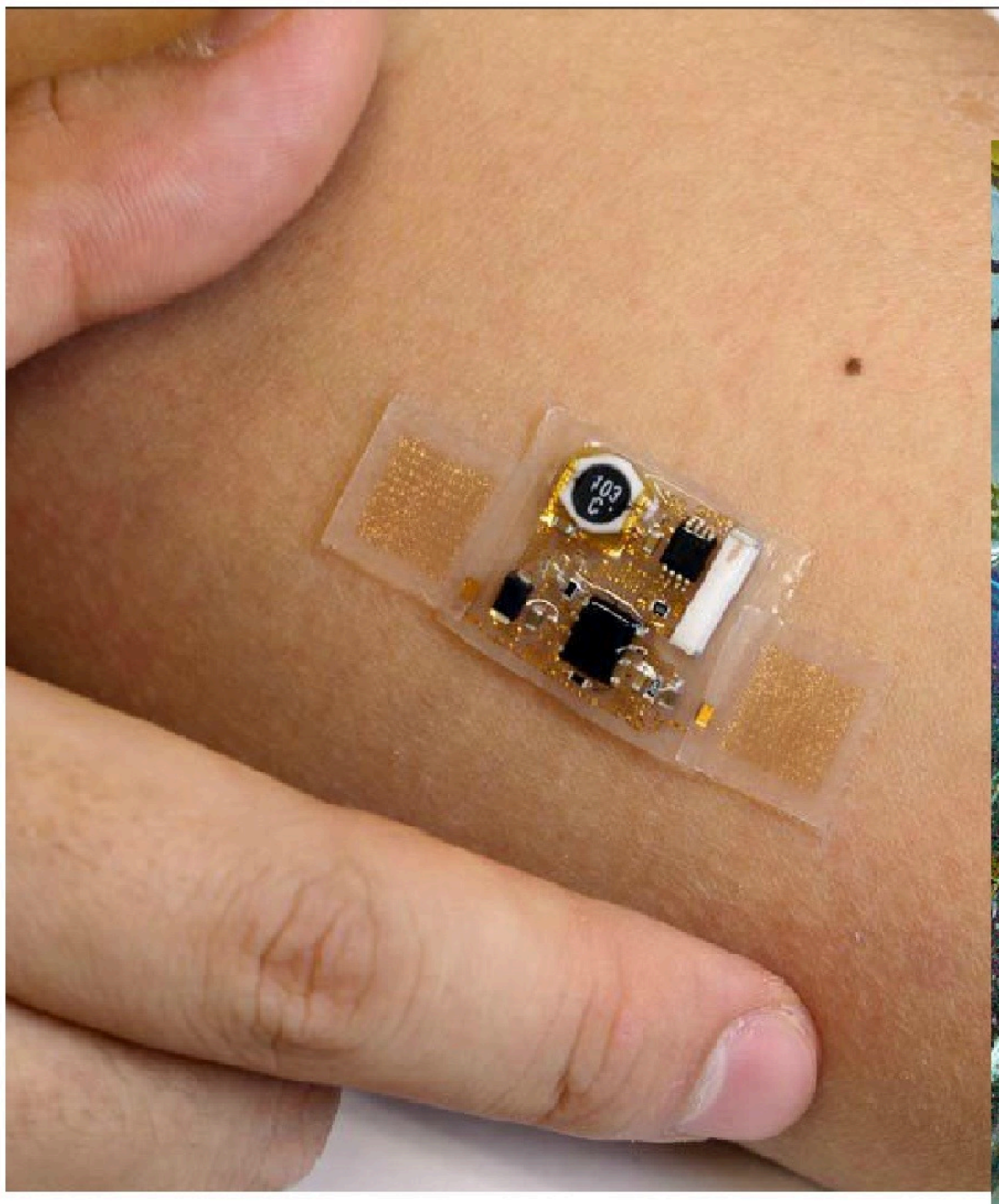
6 La neutralité du Net est-elle désormais assurée ?

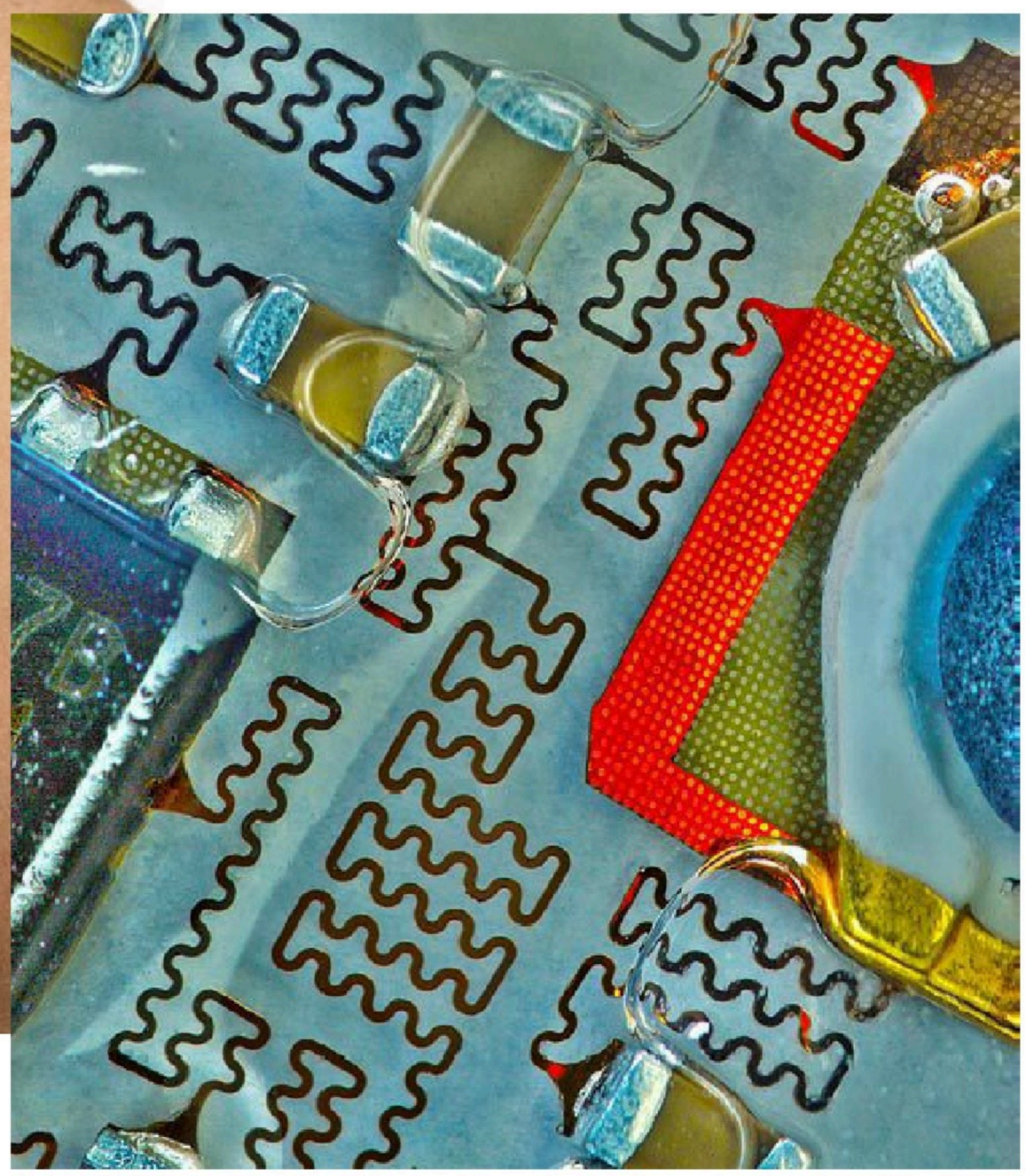
Rien n'est moins sûr. Malgré le vote du Parlement européen, la bataille ne fait que commencer et les fournisseurs d'accès sont désormais en ordre de bataille. La verve du président de l'Etno à la suite du vote du 3 avril donne la mesure de l'opposition au texte : « *Nous sommes certains que le travail à venir des décideurs de l'Union européenne* […] *adoptera l'esprit de la proposition originale de la Commission, confirmant que l'Union européenne cherche des solutions pour la croissance, et non pas des mesures populistes.* »

Le texte qui a été voté en première lecture est une réglementation. S'il était adopté tel quel, il s'imposerait immédiatement aux pays membres sans que leurs parlements nationaux n'aient à être consultés. Mais tout est loin d'être fini : ce vote n'est qu'une première étape, le texte doit ensuite être soumis début juin au Conseil de l'Union européenne, constitué des ministres chargés du numérique et des télécommunications des pays membres. Le Conseil pourra l'accepter en l'état, le repousser ou l'amender. Dans ce dernier cas, commencera une série de navettes entre le Parlement et le Conseil, en passant par un éventuel conseil de conciliation… Ce qui peut prendre des mois.

Au final, les ministres pourraient aller dans le sens des fournisseurs d'accès. La position du gouvernement français envoyée aux eurodéputés avant le vote est d'ailleurs claire : il préfère une définition moins restrictive des services spécialisés, « *permettant le développement d'offres commerciales innovantes* » et qui ne serait pas « *trop attentatoire à la liberté de commerce et au développement de services plus performants* ». Bref, l'Internet à péage n'est pas forcément mort le 3 avril. ✳

Selon Tim Berners-Lee, Internet doit son succès à l'absence de contrôle et de limites. C'est pourquoi le principal inventeur du Web plaide pour une législation dans ce sens dans tous les pays.
TONY SCARPETTA/W3C





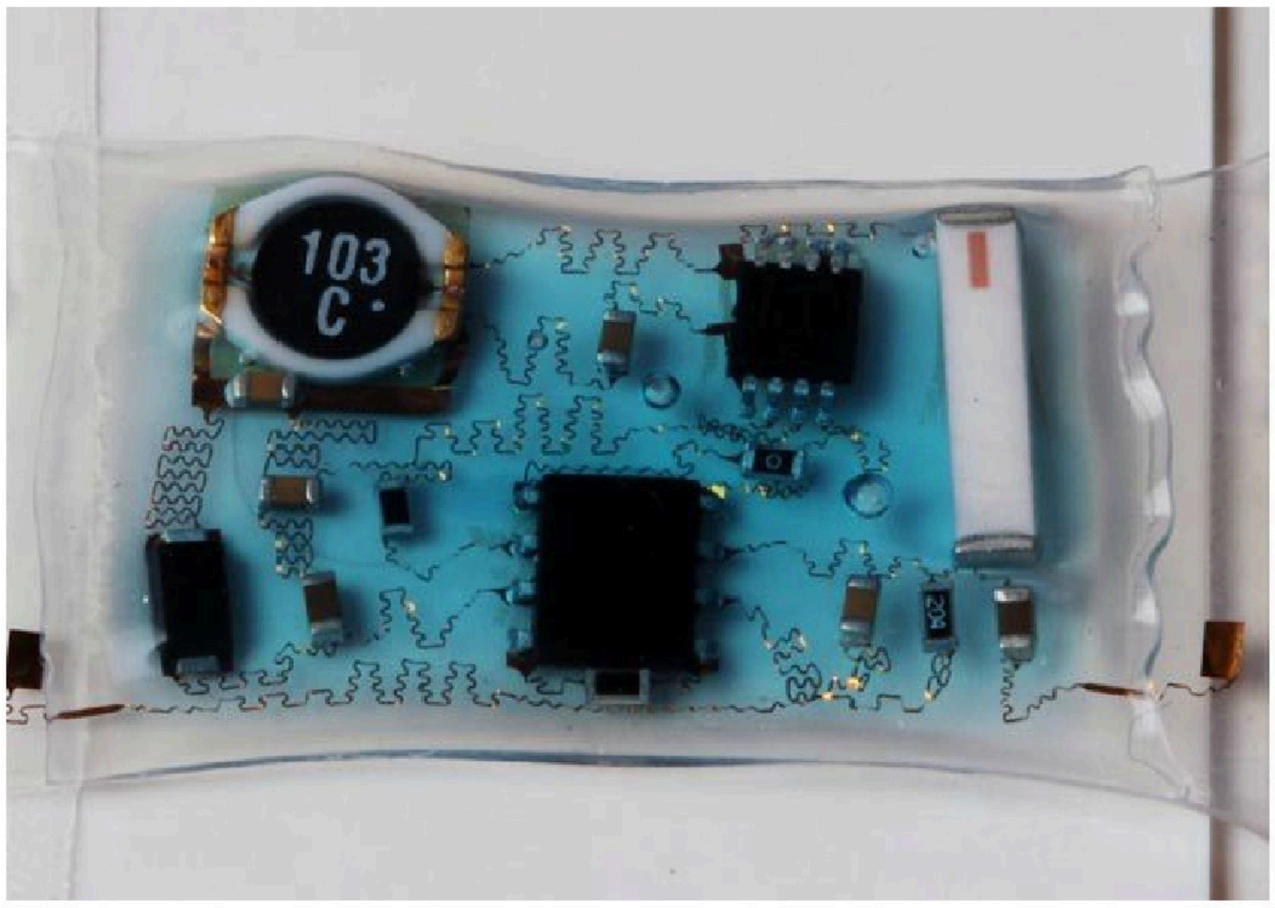
Destiné à surveiller le cœur d'un patient à distance, ce patch de la taille d'un timbre-poste contient des puces et de quoi transmettre les données sans fil. JOHN ROGERS, FELICE FRANKEL

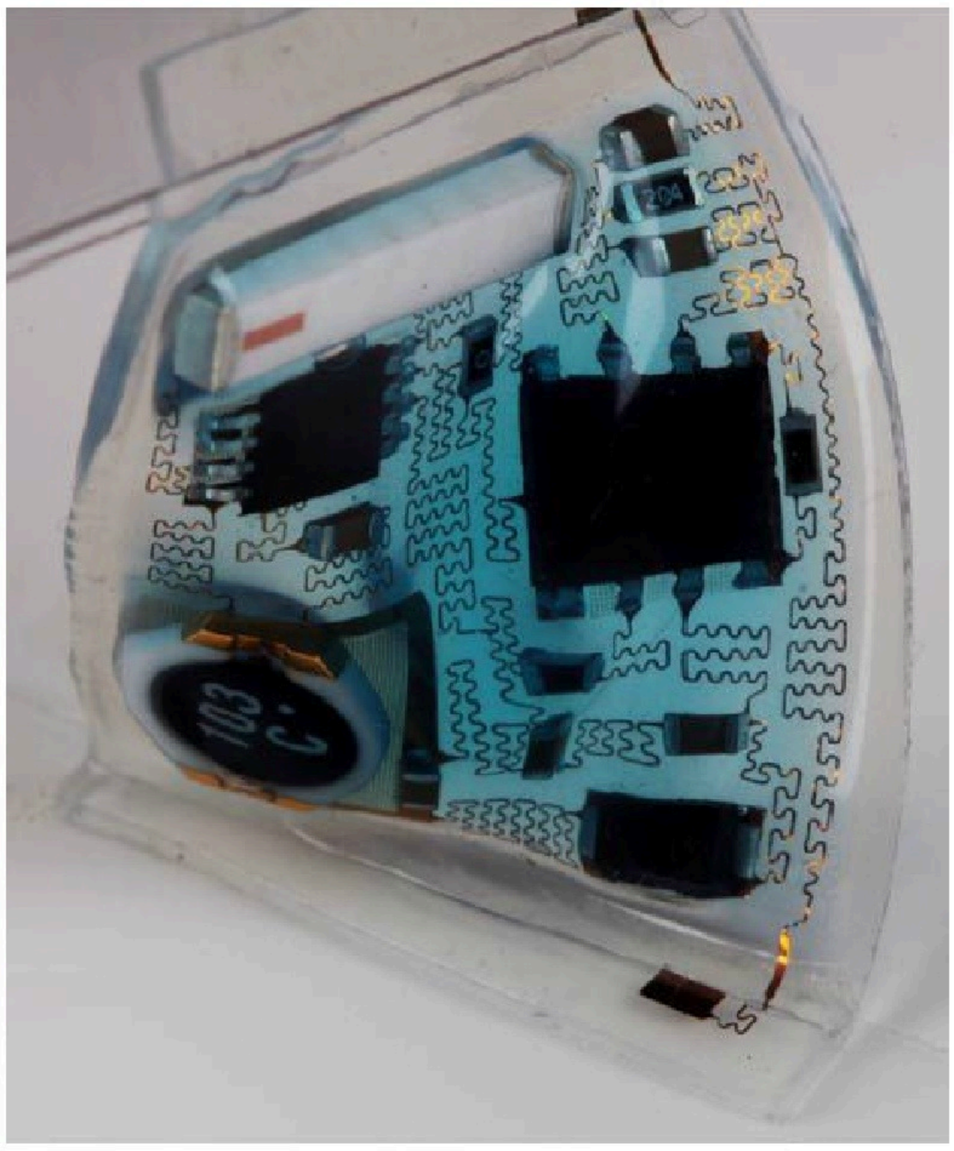
Les puces nous collent à la peau

Un patch électronique, souple et étirable, qui adhère à la peau et suit les mouvements du corps, vient d'être mis au point au États-Unis. Objectif : fournir aux médecins, en temps réel, des informations sur l'état de santé de leurs patients.

PAR **Gautier Cariou**

Regardez bien ce patch. Il préfigure, selon son concepteur John Rogers, de l'université de l'Illinois aux États-Unis, ce que sera la médecine de demain : une médecine qui suivra de si près ses patients que l'on pourra plus facilement évaluer les risques qu'ils courent ou « *repérer des états pathologiques dès les premières étapes de la maladie, pour de meilleures interventions et préventions* ». Selon qu'on l'applique près du cœur, sur le front, proche des yeux ou au-dessus des muscles, ce patch permet en effet de pratiquer à distance des examens médicaux tels que l'électrocardiographie, l'électroencéphalographie,





Même fortement étiré (à gauche) ou tordu (à droite), le patch continue à fonctionner. L'astuce? Les puces baignent dans un fluide à base de résine et sont reliées par des interconnexions en cuivre, en forme de S, qui peuvent se déplier. JOHN ROGERS

la mesure de l'activité électrique de l'œil ou des muscles. Ce patch est aussi capable de mesurer la température de celui qui le porte, au millidegré près, ainsi que la dynamique musculaire grâce à un accéléromètre intégré. De quoi accompagner les sportifs de haut niveau dans leur entraînement mais surtout bouleverser les pratiques médicales et améliorer la qualité de vie des patients. De fait, ces derniers pourraient faire l'objet d'une surveillance continue, hors des murs de l'hôpital, sans être branchés à des machines massives et sans irritation de la peau.

L'objet est souple, de manière à coller à la peau d'une personne active tout en envoyant des informations en temps réel à son médecin. Car ce patch est bardé d'électronique. À l'intérieur de son enveloppe translucide d'environ 2 centimètres de large pour 1 millimètre d'épaisseur, des puces forment un réseau désordonné qui baigne dans un fluide transparent. Et, de part et d'autre de cette enveloppe, des électrodes en or, piégées dans une matrice de silicone ultrafine, adhèrent naturellement à la peau.

Selon où il est placé sur le corps, ce patch permet de pratiquer à distance différents examens médicaux

Données collectées et analysées

Cet attirail miniature mesure des tensions électriques à travers l'épiderme, puis amplifie ces données. Il les transmet ensuite sans fil, via un émetteur radio intégré, vers un système de collecte de données pour être analysées. À terme, « *cela pourra même se faire via un smartphone* », note l'ingénieur.

Ce prototype de patch n'est pas le premier du genre développé par son équipe. « *Nous travaillons sur cette classe particulière de technologie depuis un peu plus de deux ans,* précise-t-il. *Et nos travaux plus généraux sur l'électronique épidermique ont commencé en 2009.* » Mais c'est en 2011 que John Rogers marque les esprits pour la première fois. Cette année-là, l'ingénieur aux 80 brevets, cofondateur d'une cinquantaine d'entreprises et start-up américaines qui vendent ses inventions, présente le tout premier système d'électronique épidermique : un tatouage électronique temporaire ultrafin, capable de mesurer la température du corps, le rythme cardiaque, l'activité

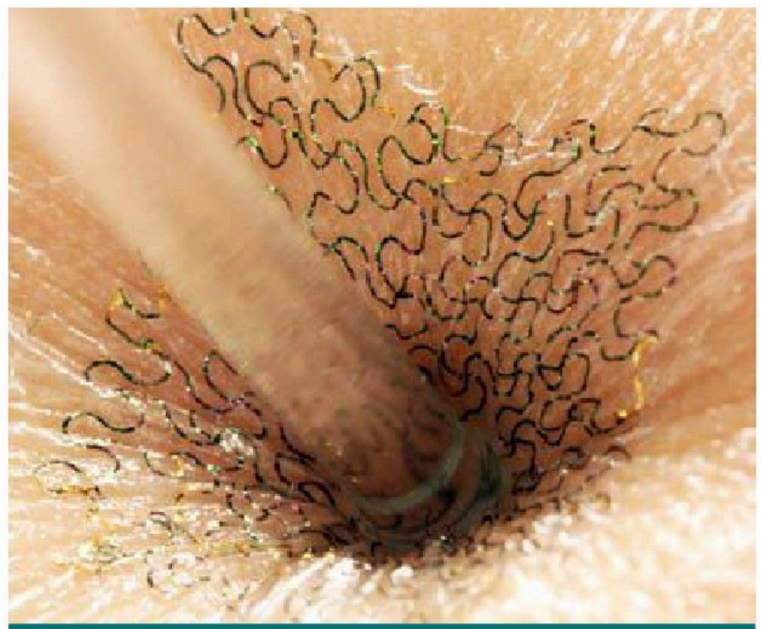
nerveuse et celle des muscles, puis de se résorber au contact de l'eau (lire *« Le temps des inventions au services des patients »*, ci-contre). Toutefois, les capacités de stockage de sa batterie étaient très limitées et le tatouage n'était pas doté de système sans fil pour transférer les données. Entretemps, de nombreuses innovations technologiques ont vu le jour pour arriver à ce fameux patch. Ce dernier a un avantage notable sur les dispositifs utilisés actuellement à grande échelle, solides donc incompatibles avec les mouvements naturels de la peau : il est étirable et biocompatible malgré la présence de composants électroniques. Pour parvenir, les chercheurs de l'université de l'Illinois ont mis en œuvre deux idées novatrices. La première consiste à conférer un maximum de mobilité aux puces électroniques en silicium grâce à une « chambre microfluidique » d'environ 1 millimètre d'épaisseur. Cette enveloppe transparente en silicone élastomère contient un fluide à base de résine de silicone dans lequel baignent les puces électroniques solides et leurs interconnexions en cuivre, ce qui les isole mécaniquement du dispositif. Les éléments solides acquièrent ainsi une certaine souplesse et s'adaptent aux mouvements de la peau en se déplaçant latéralement et longitudinalement à l'intérieur de l'enveloppe. Autre avantage : le fluide ne conduit pas l'électricité, ce qui évite tout problème électrique, de type court-circuit. Il est également stable thermiquement et chimiquement, ce qui évite la corrosion, et donc la dégradation du patch.

John Rogers est un des leaders mondiaux de l'électronique épidermique. Il a cofondé une cinquantaine d'entreprises et de start-up américaines qui vendent ses inventions. BECKMAN INSTITUTE, UNIVERSITY OF ILLINOIS

Prochaine étape : la commercialisation

La seconde idée repose sur l'architecture même des interconnexions qui sont prépliées en forme de S successifs, ce qui facilite leur déploiement à la manière d'un accordéon. Cette géométrie particulière minimise les tensions mécaniques et assure une large gamme de mouvements dans le fluide tout en continuant de conduire l'électricité.

Ce patch est dix à vingt fois plus souple que les autres prototypes actuels du même genre. Par ailleurs, même si on le plie de moitié, les interconnexions sont très peu sollicitées : l'effort n'est augmenté que de 0,2 % par rapport à sa position de repos. Les mesures restent donc de bonne qualité malgré les mouvements de la peau et la déformation du patch. Cette nouvelle technologie devrait bientôt être disponible dans les hôpitaux. De fait, l'entreprise MC10, partenaire de l'université de l'Illinois et cofondée par John Rogers, espère commercialiser ce nouveau patch électronique connecté d'ici à dix-huit mois ou deux ans. Peut-être moins !



LE TEMPS DES INVENTIONS AU SERVICE DES PATIENTS

Août 2011, le tatouage électronique temporaire (photo) mesure les constantes vitales et se résorbe au contact de l'eau. C'est l'une des nombreuses inventions sorties depuis trois ans du laboratoire de John Rogers, à l'université de l'Illinois, aux États-Unis.

Février 2013, la première batterie lithium-ion ultrafine est présentée. Signes particuliers : elle est étirable et biocompatible.

Mars 2013, un « timbre électronique » est mis au point. Épais de 0,8 mm, il résiste à l'eau et est capable de mesurer les constantes vitales d'un patient. Ce dispositif ne permet pas de transférer les données sans fil.

Mars 2014, un pacemaker biocompatible est élaboré. Fabriqué sur mesure, il est implantable directement sur le cœur du patient. De quoi mesurer la fréquence, l'acidité et la température, mais aussi de réguler l'activité du cœur en temps réel. Ce dispositif n'a pas encore été testé in vivo mais devrait bientôt faire l'objet d'essais cliniques sur des animaux. JOHN ROGERS

Un Wifi venu de l'espace

Après Internet, voici Outernet. L'objectif de ce projet américain ? Permettre aux pays où l'accès au savoir et à l'information n'est pas garanti de se connecter au Web gratuitement. Premier test prévu en juin 2015.

PAR
Gautier Cariou

Capter le Wifi gratuitement au beau milieu de la Sibérie ou dans n'importe quelle zone dépourvue d'accès à Internet ? Ce rêve pourrait se concrétiser dès 2015 grâce à « Outernet », un projet lancé par l'association new-yorkaise à but non lucratif Media Development Investment Fund (MDIF). Objectif ? Apporter une information indépendante dans les pays où la liberté d'expression et l'accès au savoir ne sont pas toujours assurés.

En effet, 60 % de la population mondiale n'a pas accès à Internet. Pour y remédier, Syed Karim, directeur de l'innovation au MDIF et créateur du projet a eu une idée originale : diffuser des données par Wifi de l'espace, via une constellation de satellites capables d'envoyer en boucle du contenu numérique n'importe où à la surface du globe.

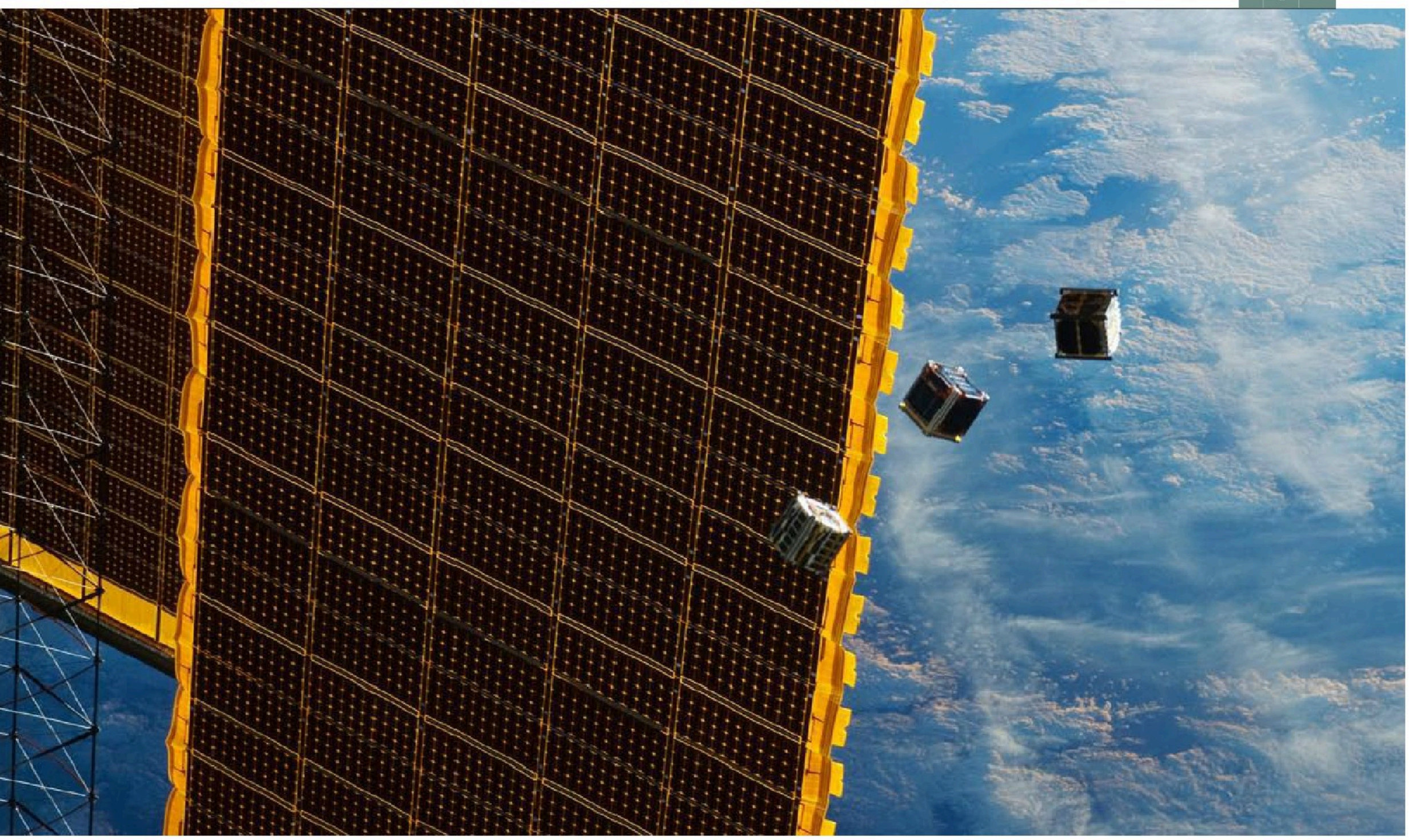
Les satellites en question sont des CubeSat, de petits cubes d'environ 1 kg pour 10 cm de côté développés à l'origine par l'université polytechnique de Californie et l'université Stanford, aux États-Unis. Ces satellites low cost sont exploités par de nombreuses universités et par la Nasa pour mener des expériences et réaliser des mesures en orbite terrestre.

Outernet prévoit d'envoyer plusieurs centaines de ces micro-satellites à environ 500 km d'altitude, de quoi couvrir l'ensemble du globe. Une fois en orbite, un réseau de stations au sol enverra des morceaux choisis du Web vers les satellites qui, par la suite, diffuseront ce contenu en boucle à destination de la Terre. Le signal wifi devrait obéir aux normes actuelles et sera donc compatible avec les récepteurs actuels. Du coup, il suffirait d'un terminal traditionnel (tablette, smartphone…) pour avoir accès aux informations envoyées depuis l'espace.

En réalité, Outernet n'aura pas grand-chose à voir avec l'Internet que l'on utilise tous les jours. Dans un premier temps, il ne proposera pas un accès total au Web, mais juste un minimum syndical : les populations les plus isolées pourront recevoir des informations locales et internationales. Parmi les contenus proposés, les satellites diffuseront l'encyclopédie Wikipédia et délivreront le système d'exploitation libre Ubuntu ainsi que l'application de cartographie OpenStreetMap. Outernet met également l'accent sur l'accès au savoir et à l'éducation : le service proposera donc un contenu pédagogique via des plates-formes américaines de cours en ligne comme Coursera ou encore la Khan University.

Sorte de radio moderne financée par des dons

En revanche, il sera impossible de surfer ou de réaliser toute tâche qui nécessite d'envoyer des données. Ce service s'apparente plus à une sorte de radio moderne, où l'utilisateur n'émet aucune donnée, mais ne fait qu'en recevoir. En outre, le signal wifi sera faible et difficile à capter dans les zones urbaines denses où les obstacles physiques, comme les immeubles, sont nombreux. L'objectif affiché d'Outernet n'est donc pas de concurrencer les grands fournisseurs d'accès à Internet



Avant de mettre en orbite des centaines de CubeSat, minisatellites d'environ 1 kg et de 10 cm de côté, Outernet souhaite les tester sur la Station spatiale internationale. NASA

dans les grandes villes mais bien d'apporter un Internet de base aux populations non connectées ou soumises à la censure. En ce qui concerne la nature du contenu diffusé, ce sont les internautes impliqués dans le projet qui en décideront collégialement.

Pour autant, Outernet n'est pas le seul projet du genre. Le programme concurrent «Google Loon» a déjà déployé une trentaine de ballons stratosphériques dans les airs en juin 2013 depuis la Nouvelle-Zélande. Envoyés à une vingtaine de kilomètres d'altitude, ces ballons permettent de fournir une connexion 3G à bas prix dans les zones les plus isolées du monde. Un autre projet de constellation satellitaire, «03B», est bien avancé. Quatre satellites d'environ 500 kg ont déjà été mis en orbite, à plus de 8000 kilomètres d'altitude l'été dernier. À terme, cette constellation devrait proposer une offre internet low cost par satellite.

Mais, à la différence de grandes constellations satellitaires comme Iridium, O3B ou Globalstar, soutenues financièrement par de grandes entreprises, Outernet n'est financé que par des dons. Un modèle économique fragile qui n'assure en rien l'aboutissement du projet. Si le financement suit, la constellation de satellites devrait être déployée d'ici à 2015. Après avoir testé leur technologie sur la terre ferme en juin 2014, les ingénieurs d'Outernet demanderont à la Nasa l'autorisation de la tester sur la Station spatiale internationale. Après quoi, le processus de fabrication des satellites pourra commencer, début 2015. Le MDIF espère pouvoir diffuser Outernet à partir de juin 2015. ✳

60 %

DE LA POPULATION MONDIALE
n'a pas accès à Internet

Sysnav, fondé par David Vissière

On peut compter sur David Vissière pour ne plus jamais perdre le nord. À 34 ans, le fondateur de la société Sysnav a mis au point un système de navigation 100 % autonome, fonctionnant sans satellite ni radio, grâce à l'exploitation des variations du champ magnétique. Une alternative technologique stratégique au GPS, facile à brouiller. Ce nouveau mode de géolocalisation vient d'être récompensé par le prix du MIT Technology Review pour les innovateurs de moins de 35 ans.

Le coup de génie de l'ingénieur polytechnicien et de ses collègues a consisté à utiliser les équations de Maxwell de l'électromagnétisme pour exploiter les variations locales du champ magnétique, jusqu'ici considérées comme des perturbations, en le complétant d'un système de capteurs inertiels à bas coût et de magnétomètres, comme ceux de nos téléphones portables. Avec trois boussoles numériques combinées, on calcule la direction et la vitesse en 3D à laquelle se déplace le porteur. Puis on tire parti de la déformation du champ magnétique terrestre liée à la présence d'objets métalliques. La modélisation des variations du champ magnétique combinée avec les informations d'orientation des capteurs permet de mesurer la vitesse d'objets ou de personnes, donc de les localiser.

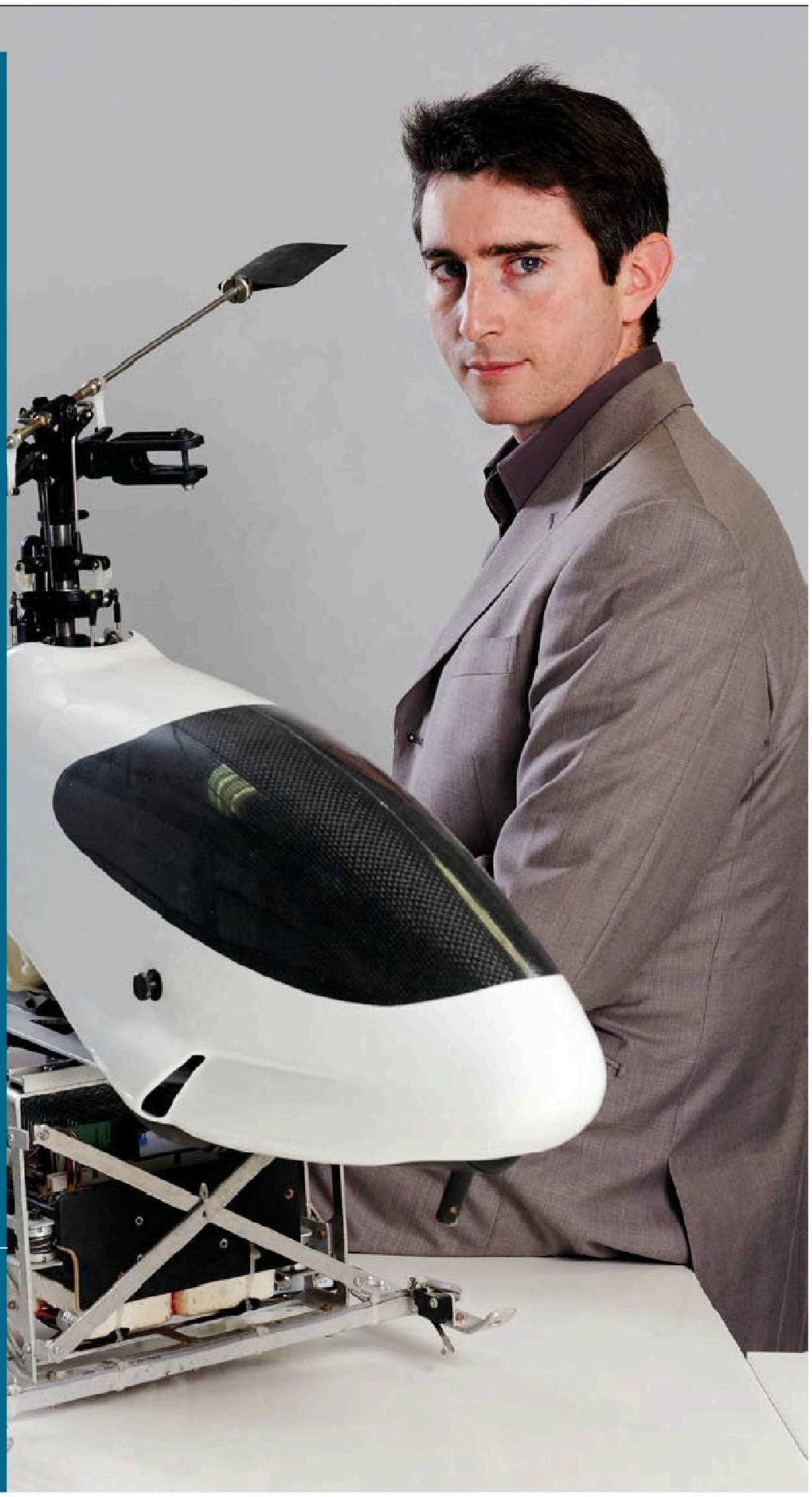
Du jeu vidéo à l'assistance aux personnes, les applications sont nombreuses. Sysnav poursuit son développement et accueille les talents, docteurs et ingénieurs en électronique et algorithmes embarqués. ✳ **Aline Richard**

SYSNAV EN CHIFFRES

1,5 million D'EUROS : CHIFFRE D'AFFAIRES 2013

12 BREVETS DÉPOSÉS

15 DOCTEURS ET INGÉNIEURS



SYSNAV

@TWEETS

ACQUISITIONS En 2013, la firme Yahoo a été le premier acheteur de jeunes pousses aux États-Unis avec 22 acquisitions pour un montant global de 1,2 milliard de dollars, soit 875 millions d'euros. **CREVETTES** Une start-up britannique a imaginé un système d'aquaculture des crevettes non polluante pour les pays du Sud. Dans le bassin, des bactéries se nourrissent des déjections des crevettes et celles-ci mangent les bactéries quand elles atteignent une certaine taille.

Le Monde & LA Recherche

présentent

2ème édition

CRIC Cooperative Research Innovation Conference

FRANCECHINE / PARIS 2014

MARDI 2 DECEMBRE 2014

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

INNOVER AVEC LA CHINE : LES ENJEUX D'AVENIR

Réservez dès à présent votre place : - 20 % de remise pour toute inscription avant le 5 septembre 2014

INFORMATIONS ET INSCRIPTIONS :

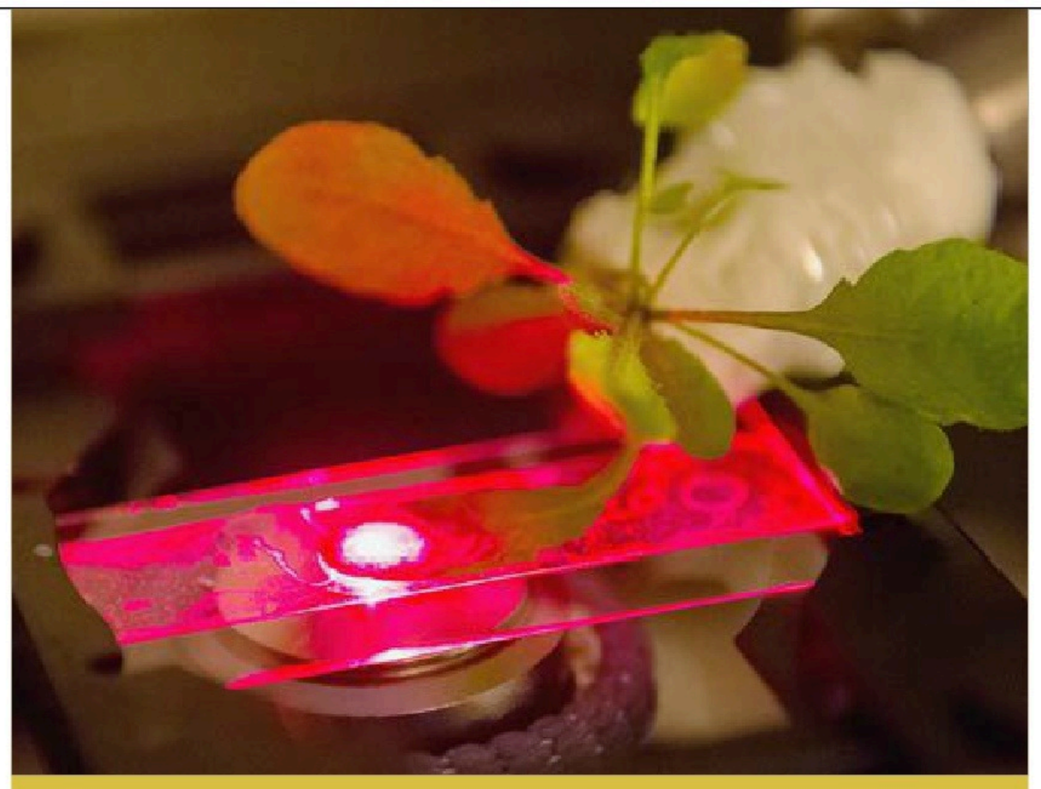
- cricchine@larecherche.fr
- www.conference-innovation.com/chine

10 fois

plus résistant qu'une céramique classique, un matériau mis au point par des chercheurs français s'inspire de la nacre qui recouvre les ormeaux, des mollusques marins. Les ingénieurs ont réussi à en reproduire la structure. Dans cet empilement de briques soudées entre elles, les fissures ont plus de mal à se propager.

Dépollution plus économe

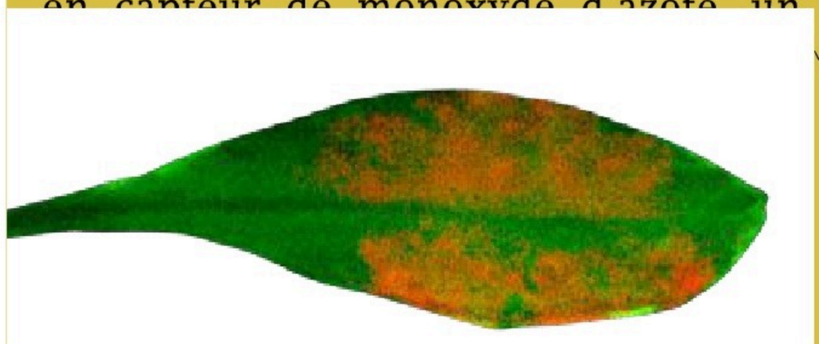
Ces petits flotteurs mesurent toutes les 20 secondes la pression, la température et le courant dans les bassins d'aération des usines de traitement des eaux usées. Grâce à ces données, les ingénieurs estiment mieux la répartition de l'oxygène dans le bassin. Ce gaz, indispensable aux bactéries pour dégrader la pollution de l'eau, est aujourd'hui injecté et brassé en continu. Son apport contrôlé permettrait de réduire le coût énergétique des usines et d'améliorer leur rendement.
HZDR



LES NANOTUBES DE CARBONE BOOSTENT LA PHOTOSYNTHÈSE

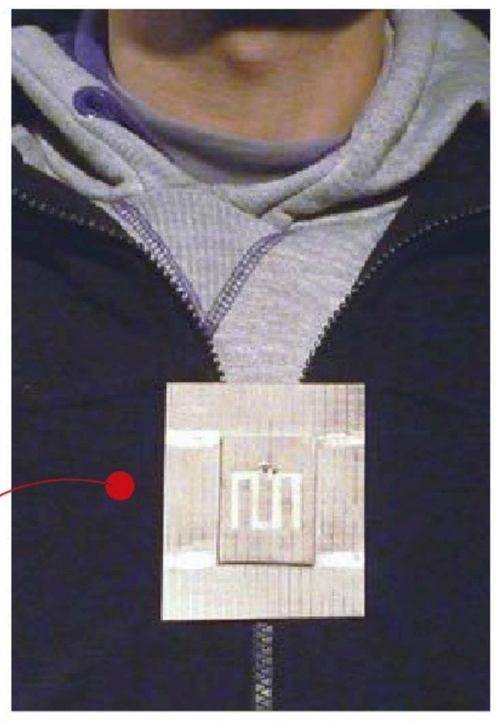
Les plantes bioniques commencent à fleurir dans les laboratoires. Des chimistes du MIT, à Cambridge, ont en effet testé l'intégration de nanotubes de carbone, de minuscules cylindres faits de carbone, au cœur des végétaux. Les feuilles d'arabette des dames, une variété très appréciée des scientifiques, ont donc été badigeonnées avec ces nanoparticules. Ces dernières ont pénétré jusqu'aux chloroplastes, les usines cellulaires de la photosynthèse, qui transforme la lumière en énergie vitale pour la plante. Or les nanotubes de carbone absorbent une plus large partie du spectre de la lumière que les chloroplastes. Résultat : la photosynthèse du végétal a été augmentée de 30 % ! Les scientifiques ne se sont pas arrêtés là et ont « greffé » d'autres nanoparticules pour transformer avec succès la plante en capteur de monoxyde d'azote, un polluant

M. IVERSON, MIT

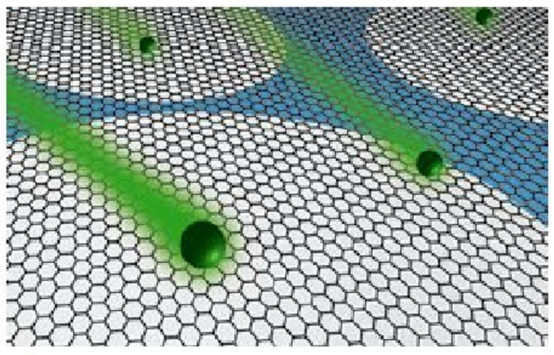


Antenne sans fil et en tissu

Téléphoner avec sa chemise ? On s'en approche avec cette antenne sans fil développée par des chercheurs de l'université catholique de Louvain, en Belgique, et de l'université malaisienne de Perlis. Montée sur un support textile, elle est flexible, compacte, et émet des ondes essentiellement dans une direction, ce qui limite l'interaction avec l'organisme. La première application envisagée est un dispositif d'alerte pour les personnes âgées, qui transmettra leurs signaux vitaux sans fil, instantanément.



Montée sur un support textile, l'antenne pourrait être utilisée comme dispositif d'alerte. KU LEUVEN - ESAT/TELEMIC

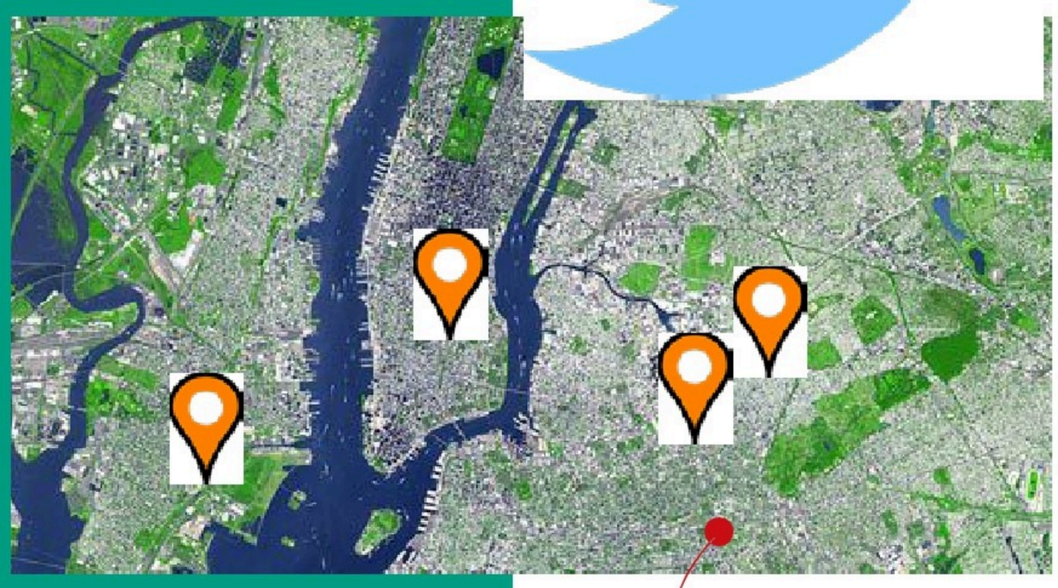


Le graphène peut dessaler l'eau de mer

Pour filtrer l'eau, il faut bloquer les molécules indésirables, le sel par exemple, tout en laissant suffisamment passer l'eau pour avoir un débit raisonnable. Les chercheurs du MIT ont montré que le graphène est le candidat idéal pour réaliser ce compromis. En le bombardant avec des ions puis en le trempant dans un bain oxydant, on obtient une membrane percée par de très nombreux pores de taille subnanométrique. Un tel filtre pourrait être jusqu'à 50 fois plus efficace que les filtres actuels. Reste à savoir le produire sur de grandes surfaces et à grande échelle. REPRINTED WITH PERMISSION FROM O'HERN, *S.C. ET AL., NANO LETTERS*, ©2014, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY

LES TWEETS DONNENT VOTRE ADRESSE

Dis-moi ce que tu tweetes, je te dirai où tu habites. Ce pourrait être le slogan des informaticiens d'IBM pour décrire leur nouvel algorithme. Ce dernier est en effet capable de déduire la ville où réside un Américain à partir de ses 200 derniers tweets. Les chercheurs ont d'abord utilisé les tweets de 10 000 habitants des 100 plus grandes villes américaines. Avec une grande partie de ces messages, l'algorithme a extrait les informations utiles. L'heure d'envoi des tweets permet d'abord de déterminer le fuseau horaire. Ensuite, des messages comme un encouragement à l'équipe de foot locale permettent une identification plus précise. Enfin, les tweets restants ont servi à tester l'efficacité du programme. À condition d'exclure les gens visiblement en voyage, la prédiction s'avère exacte dans 70 % des cas.

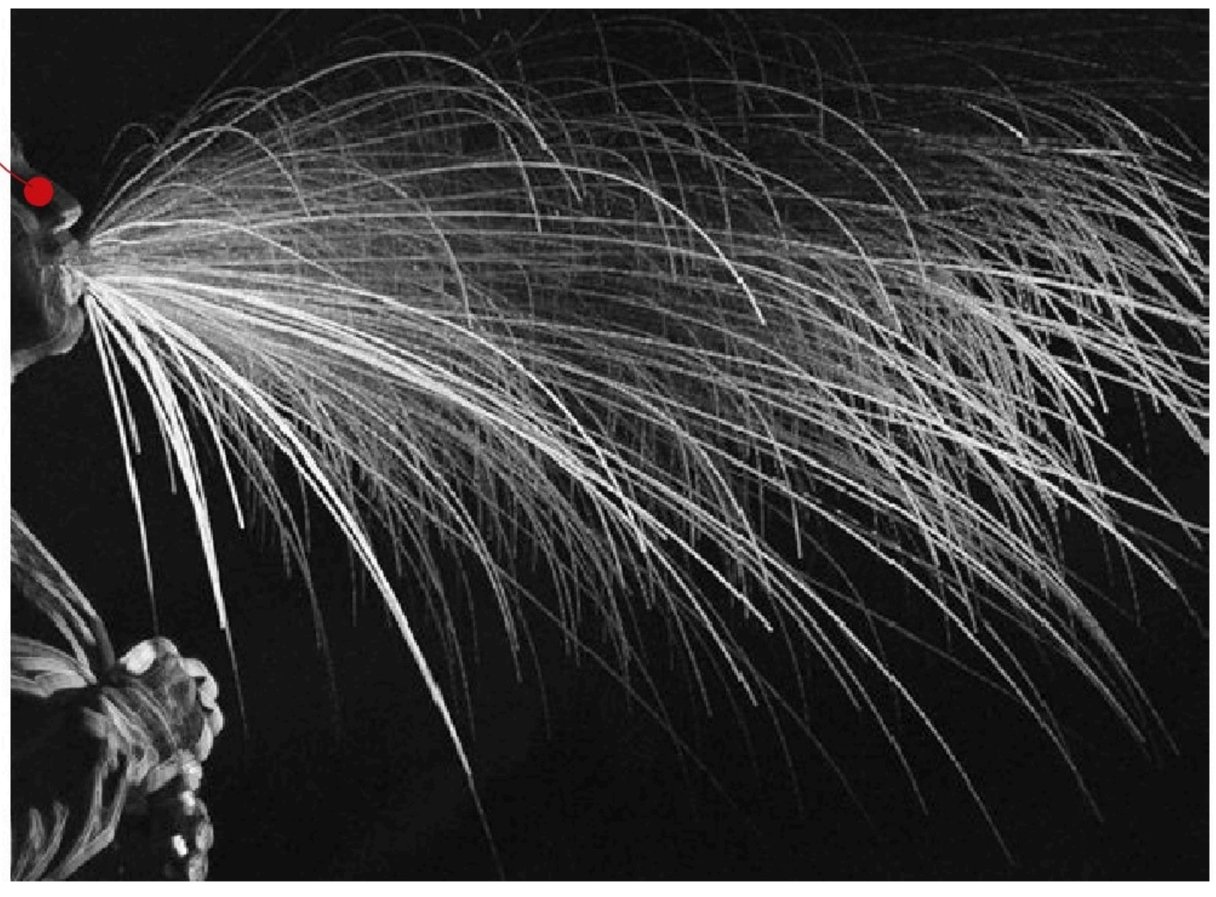


Il suffit de 200 tweets d'un Américain pour que l'algorithme d'IBM détermine son lieu de résidence. NASA/GSFC/MITI/ERSDAC/JAROS

Il y a du rhume dans l'air

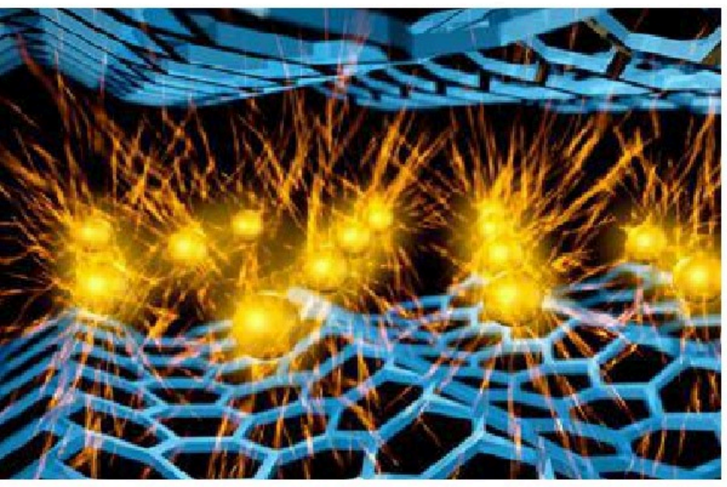
Un éternuement ou une toux envoient des gouttelettes de mucus beaucoup plus loin que ce que l'on imaginait jusqu'à présent. C'est ce qu'ont pu observer les mathématiciens américains, grâce à l'imagerie à grande vitesse et à des modélisations. Ce constat est particulièrement vrai pour les plus petites gouttes qui, en suspension dans la phase gazeuse du nuage de mucus, parcourent des distances 200 fois plus importantes que prévu... Une découverte qui remet en question nos estimations sur la contamination par projections.

Jusqu'ici, la mobilité des gouttelettes de mucus avait été largement sous-estimée. BOUROUIBA, DEHANDSHOEWERCKER & BUSH



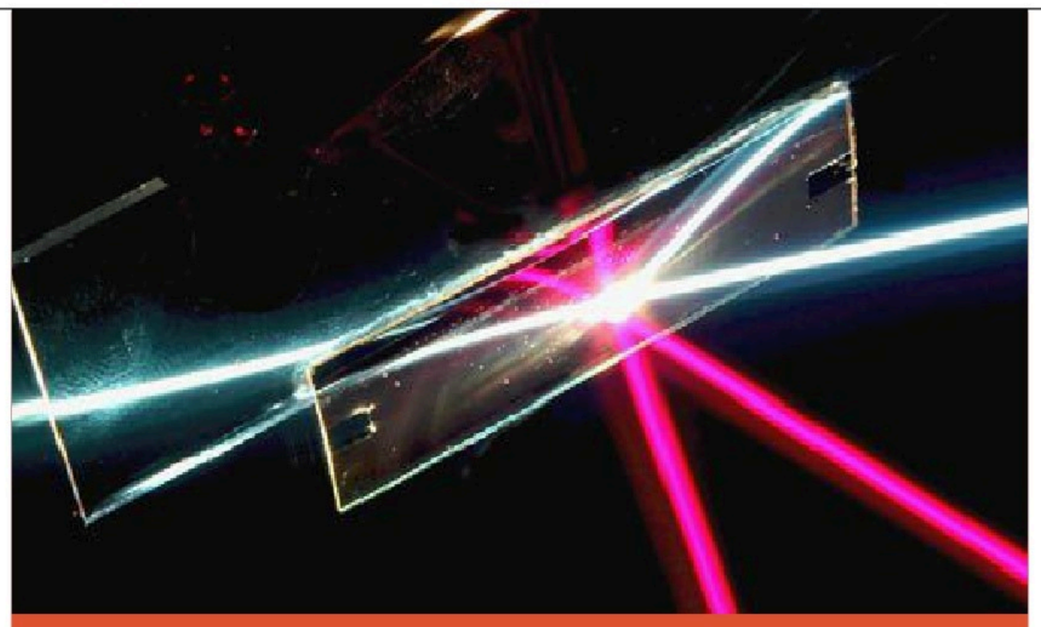
50

échantillons marins analysés en quatre heures, au lieu d'un seul. Grâce à la puce à ADN Phytochip, développée par l'Ifremer et le Génopole Toulouse, on peut désormais détecter de manière plus fiable et plus rapide la présence en mer de phytoplanctons toxiques qui contaminent les coquillages.



Voies rapides pour électrons

Le graphène, ce feuillet de carbone de l'épaisseur d'un atome, possède des propriétés électriques et mécaniques exceptionnelles. Le rendre capable de conduire l'électricité sans perte serait la cerise sur le gâteau. Des physiciens viennent de comprendre pourquoi un empilement alterné de couches de graphène et de calcium est supraconducteur. À l'aide d'ultraviolets, ils ont pu observer le comportement des électrons dans chaque couche. Une étape vers la réalisation d'un unique feuillet de graphène supraconducteur. GREG STEWART/SLAC



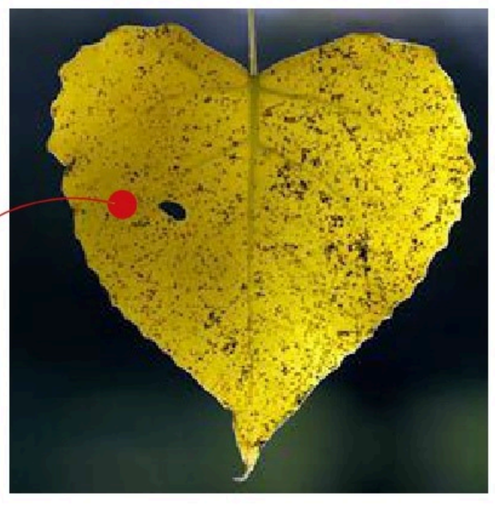
FILTRER LA LUMIÈRE SELON SA DIRECTION

Imaginez un miroir qui refléterait parfaitement votre image si vous le teniez en face de vous, mais qui deviendrait transparent si vous le faisiez pivoter. C'est ce que viennent de réaliser des opticiens du MIT : un matériau qui réfléchit toute la lumière, sauf celle qui arrive sur lui dans une direction particulière. La lumière, comme toute onde électromagnétique, est définie par sa fréquence (sa couleur), sa polarisation (la direction dans laquelle l'onde lumineuse vibre) et sa direction de propagation. Lorsque les scientifiques veulent filtrer la lumière, ils savent jouer sur la fréquence, avec des filtres colorés. Ils peuvent sélectionner la direction de vibration avec des polariseurs. En revanche, ils ignoraient jusqu'à présent comment ne garder que la lumière en provenance d'une direction.

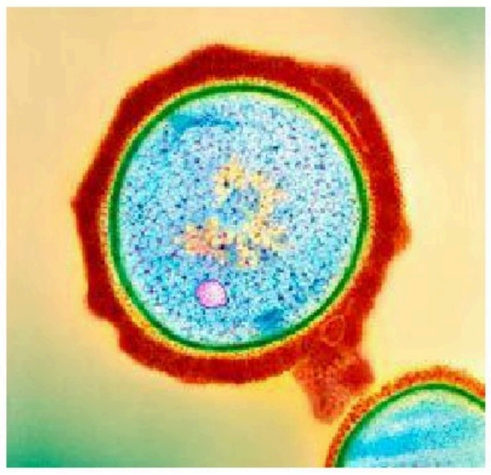
Pour réaliser son filtre directionnel, l'équipe est partie d'un point connu : si la lumière arrive sur un morceau de verre avec un angle bien précis et avec la bonne polarisation, alors elle est parfaitement transmise. Il restait à faire en sorte que toute onde lumineuse arrivant avec un angle différent soit réfléchie. Les chercheurs ont alors empilé en alternance une dizaine de couches de deux matériaux différents, de quelques centaines de nanomètres d'épaisseur chacune : à chaque interface, une partie de la lumière est réfléchie, sauf celle sélectionnée à un angle précis dit de « Brewster ». Plusieurs applications sont possibles, notamment pour les cellules photovoltaïques. WEISHUN XU & YUHAO ZHANG, MIT

Des peupliers dans le moteur

Des peupliers feront-ils rouler les voitures de demain ? Le potentiel de cet arbre comme agrocarburant est connu : il pousse en nombre et sur des terrains inadaptés aux cultures vivrières. Mais pour le transformer en carburant, il faut le débarrasser de la lignine qui confère la rigidité au bois. Or le processus est coûteux et nécessite des températures élevées. En insérant un gène particulier dans l'ADN du peuplier, des biochimistes de l'université du Wisconsin, à Madison, ont créé une lignine facile à dissoudre. Ce qui ne perturbe pas la croissance de l'arbre. Reste à tester le peuplier-OGM hors des serres.



La modification génétique permet de lever l'obstacle à l'utilisation du peuplier comme agrocarburant. KURT STEPNITZ, MICHIGAN STATE UNIVERSITY

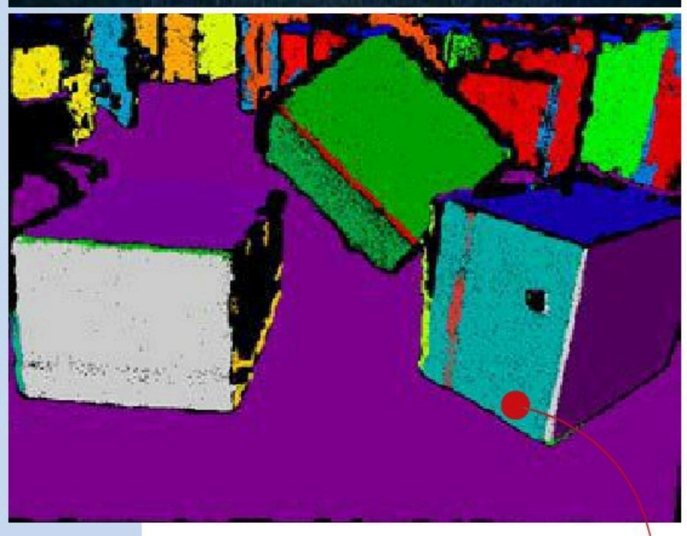


OMS cherche données

À l'heure du « tout-data », un domaine manque cruellement de données : le suivi de la résistance des bactéries aux antibiotiques. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) vient de publier un rapport alarmant sur l'efficacité de ces molécules qui ont révolutionné la médecine au XXe siècle. Et pointé du doigt l'absence d'informations sur le sujet. Sur 129 pays qui ont participé à ce rapport, seuls 22 ont pu fournir des données sur les 9 couples microbe-antibiotique critiques.
DR KARI LOUNTMAA/SPL/COSMOS

DES ROBOTS QUI NE PERDENT PAS LE NORD

Instiller le sens de l'orientation aux robots : tel est le défi que s'est lancé Julian Straub, du MIT. L'étudiant allemand vient de trouver un moyen de faciliter la navigation des robots dans des environnements à trois dimensions. Pour cela, il a développé un algorithme capable de discerner les principaux plans d'orientation dans des images 3D fournies par une caméra type Kinect.
À partir de ces données, l'algorithme estime localement l'orientation des différentes surfaces planes qui composent ces images. Puis ces estimations sont représentées par des points à la surface d'une sphère. L'algorithme repère ensuite les densités de points les plus fortes et définit plusieurs axes correspondant aux principales orientations contenues dans l'image. Ainsi, si trois cartons sont disposés sur le sol selon trois orientations différentes, alors l'algorithme représentera une sphère dotée de trois axes distincts. Or, en déplaçant la caméra, les axes de la sphère sont modifiés et « tournent » en même temps, ce qui permet d'estimer rapidement la position relative de la caméra par rapport à la scène au cours du temps. Un bon moyen de s'orienter pour des robots mobiles !

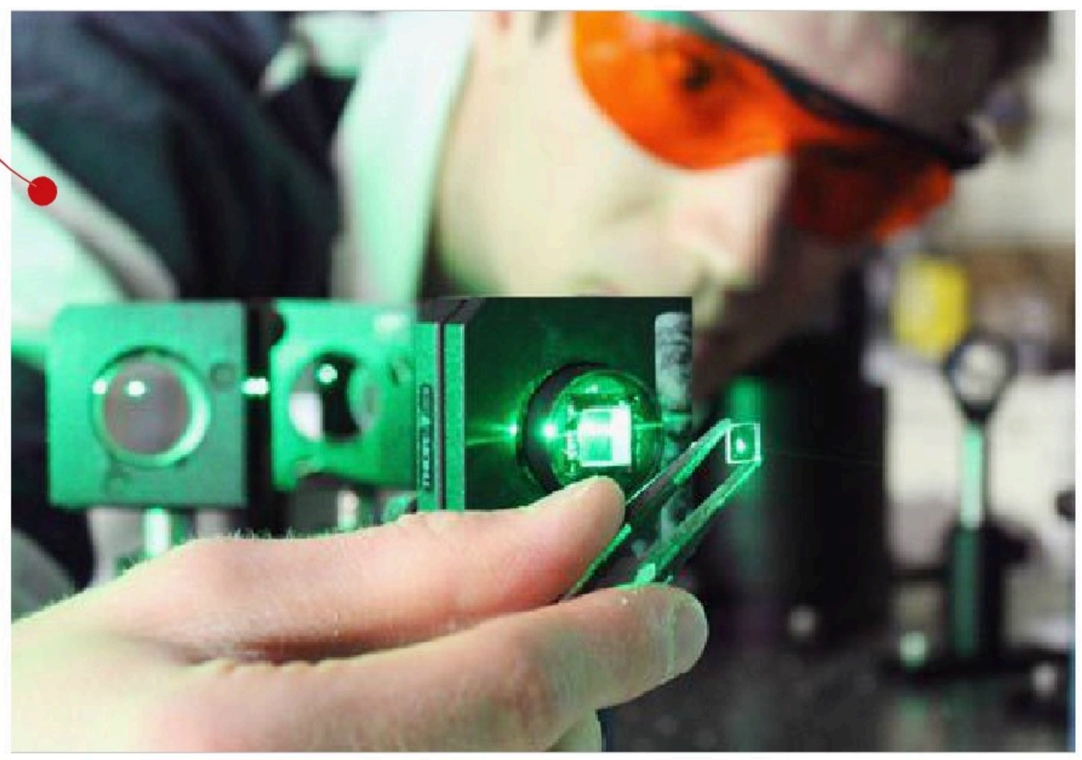


La « boussole » repose sur un algorithme capable de discerner les différents plans d'orientation dans des images 3D. JULIAN STRAUB, MIT

Quand la lumière magnétise la matière

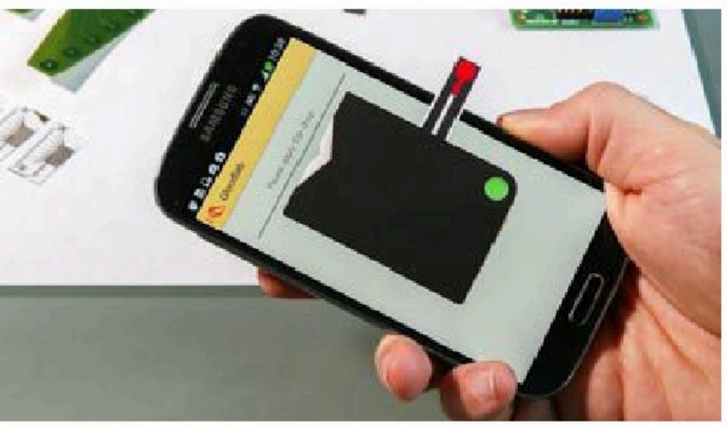
Les chercheurs croyaient tout connaître du titanate de strontium, un semi-conducteur utilisé depuis les années 1950. Ils pensaient en particulier qu'il n'avait pas de propriétés magnétiques. Les physiciens du laboratoire Los Alamos de l'université de Californie viennent pourtant de découvrir qu'il pouvait être magnétisé en l'illuminant avec un laser. Cet effet perdure plusieurs heures après avoir coupé le faisceau lumineux. Contrôler cette propriété permet d'envisager des méthodes pour stocker et lire des informations dans ce matériau.

Le titanate de strontium a révélé ses propriétés magnétiques en étant illuminé avec un laser.
COURTESY LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY



À Londres, on fluidifie le trafic… des piétons

Cet été, la mairie de Londres va tester des passages piétons intelligents. Des caméras scruteront les trottoirs afin de déterminer combien de personnes attendent. S'il y a foule, le petit bonhomme vert restera plus longtemps pour que tout le monde puisse traverser tranquillement.

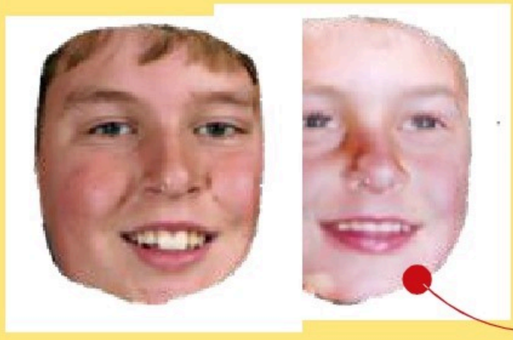


Le téléphone portable joue au docteur

Une start-up suisse a réussi à transformer un téléphone portable en minilabo d'analyses, utile pour les personnes sous anticoagulant. L'écran est recouvert d'un film à usage unique. Après s'être piqué le doigt, le patient y dépose une goutte de sang qui y pénètre par capillarité et interagit avec une molécule provoquant la coagulation. Cette réaction perturbe le champ électrique à la surface du téléphone, comme lorsqu'on touche l'écran tactile. Une application permet ensuite de déterminer le degré de coagulation et de le transmettre au médecin.
ALAIN HERZOG/EPFL

VIEILLIR SUR ORDINATEUR

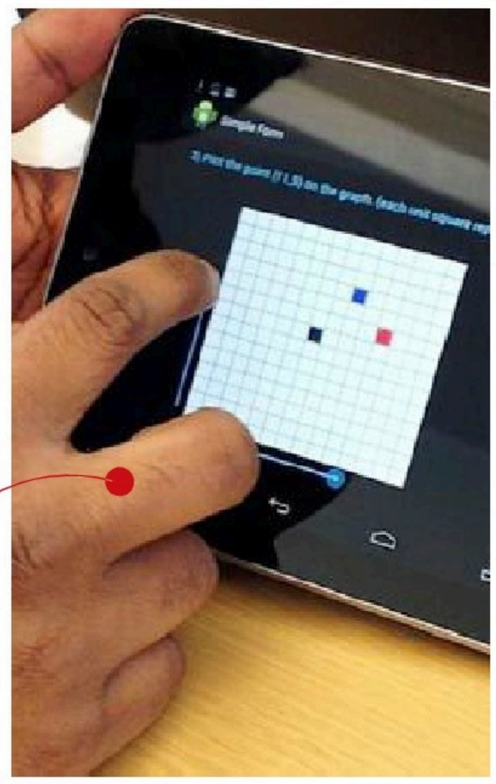
Fournissez-lui la photo d'un enfant de 3 ans et ce nouvel algorithme le vieillira jusqu'à 100 ans. Pour réaliser cette transformation, ce logiciel développé par les informaticiens de l'université de Washington, à Seattle, se fonde sur des milliers de photos trouvées sur Internet. Il extrait les changements qui s'opèrent en moyenne dans les traits du visage lorsqu'on vieillit, puis les applique à la photo souhaitée. Jusqu'à présent, il était très difficile d'obtenir un résultat probant à partir d'une photo enfantine. Le résultat ici est convaincant : devant choisir entre une vraie photo et une autre vieillie artificiellement, les personnes interrogées par les chercheurs ont trouvé l'image numérique plus réaliste que la vraie dans la moitié des cas.



Pour valider leur logiciel, les chercheurs ont comparé le visage réel d'un enfant de 10 ans (à gauche) et le visage extrapolé à partir d'une photo prise à l'âge de 3 ans (à droite).
UNIVERSITY OF WASHINGTON

Le doigt de son maître

Sur un écran tactile, chacun à son propre style. À partir de cette observation, des chercheurs en cybersécurité du Georgia Institute of Technology, aux États-Unis, ont mis au point un système de protection pour les tablettes et les téléphones. Après avoir appris la gestuelle du propriétaire de l'appareil, le système est capable de reconnaître des mouvements différents avec une fiabilité de 97 %. Dès qu'un nouvel utilisateur est détecté, le système peut verrouiller l'appareil.



Le système peut reconnaître le toucher du propriétaire de l'appareil et peut donc chasser les intrus. GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Le logiciel de design qui se met à la mode

À côté de l'aiguille et du dé à coudre, la souris fait son apparition dans la panoplie des stylistes. Des chercheurs de l'Institut Fraunhofer de Darmstadt, en Allemagne, ont en effet présenté un logiciel de design assisté par ordinateur au Salon de technologies industrielles de Hanovre, en avril. Il permet de simuler numériquement le processus de création vestimentaire. Coupes, couleurs, textures, paramètres des tissus peuvent être changés d'un simple clic et le résultat peut être visualisé sous toutes les coutures.

FRAUNHOFER IGD

COMBATTRE LA DENGUE AVEC DES MOUSTIQUES

Après deux petits essais en Malaisie et aux îles Caïman, le premier lâcher à grande échelle d'insectes transgéniques vient d'être réalisé. Il s'agit de moustiques mâles de l'espèce *Aedes aegypti*. Mis au point par la firme britannique Oxitec, les « OX513A » sont porteurs de deux gènes qui condamnent la majeure partie de leur progéniture à mourir en quelques jours. De fait, l'un de ces gènes rend l'insecte dépendant à un antibiotique qui n'existe pas dans la nature. C'est au Brésil que l'expérience a été menée. Chaque jour, 600 000 moustiques transgéniques sont libérés. Objectif : entrer en compétition avec les mâles locaux, féconder les femelles et transmettre à leur descendance leur gène létal, de manière à diminuer la population d'*Aedes aegypti*. Ces derniers sont le vecteur du parasite de la dengue, qui a fait en 2013 près d'un million et demi de malades au Brésil. Reste que la preuve de l'efficacité d'un tel lâcher sur l'incidence de la maladie n'est pas établie. C'est donc l'objectif de l'expérience brésilienne.

Les insectes génétiquement modifiés s'infiltrent parmi leurs congénères pour en diminuer le nombre.

OXITEC

Cet avion télécommandé est petit, ultraléger et très prometteur.

UNIVERSITY OF KANSAS

Opération polaire réussie

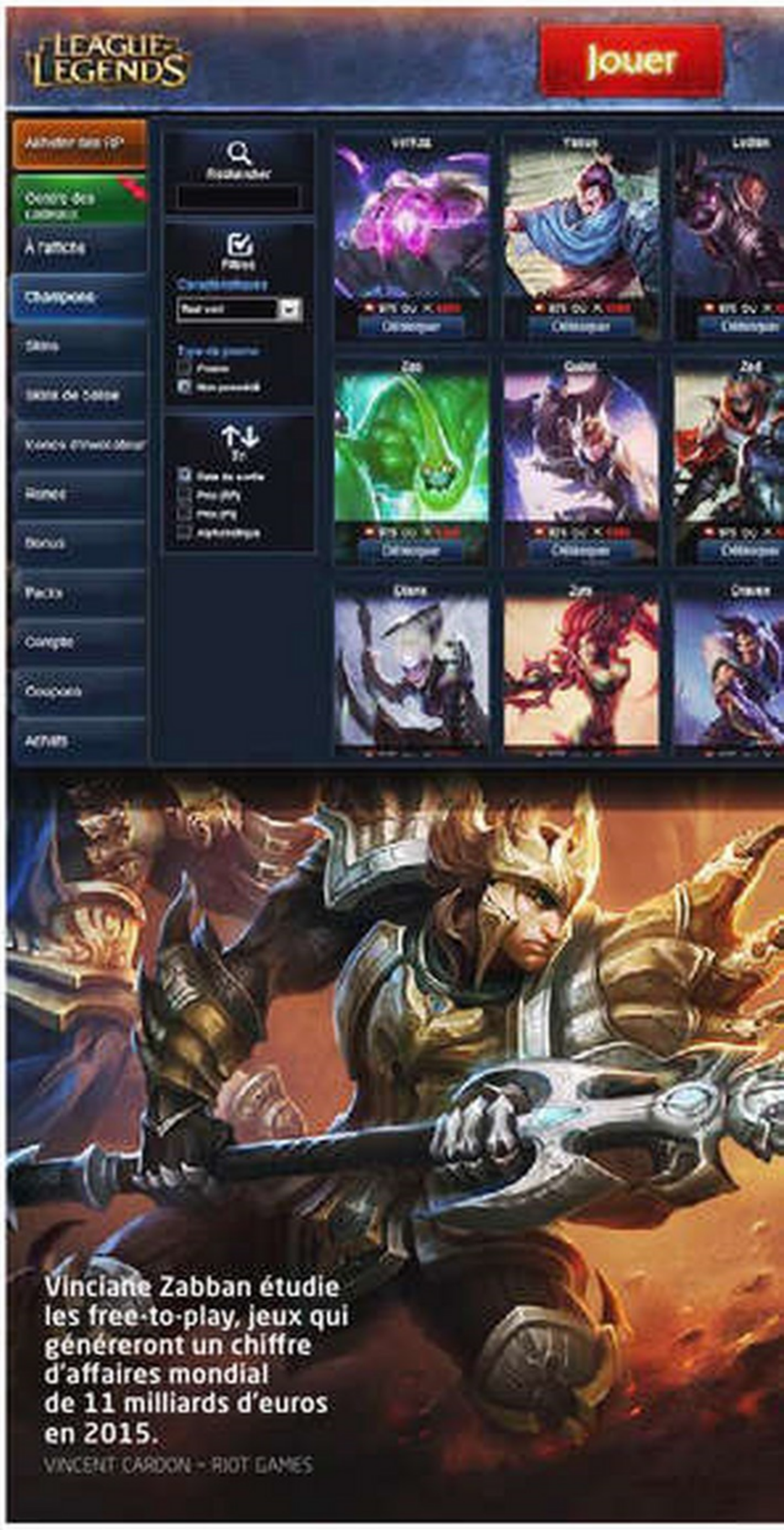
Sonder les calottes glaciaires depuis des avions sans pilote ? C'est chose faite ! Des chercheurs de l'Université du Kansas ont, pour la première fois, obtenu des données sur l'Antarctique grâce à un radar miniaturisé embarqué sur un engin volant piloté à distance. La maniabilité de l'avion – il ne pèse que 38 kg – et la finesse de résolution du radar promettent l'obtention de cartographies très précises. Et ce, même pour des calottes à évolution rapide, comme celles du Groenland et de l'Antarctique.

PAGES RÉALISÉES PAR **Sylvain Guilbaud, Gautier Cariou, Dora Courbon et Sophie Coisne**

3 Q À

« LE FREE-TO-PLAY OFFRE AU JOUEUR UN CONTENU PERSONNALISÉ »

Les free-to-play, jeux gratuits assortis d'un contenu payant optionnel, représentent aujourd'hui 17 % du marché vidéoludique, d'après le cabinet Scholè Marketing. **Vinciane Zabban**, sociologue spécialiste des jeux vidéo, nous explique les raisons de ce succès.



Vinciane Zabban étudie les free-to-play, jeux qui généreront un chiffre d'affaires mondial de 11 milliards d'euros en 2015.
VINCENT CARDON - RIOT GAMES

Comment est né le free-to-play ?

Vers la fin des années 2000, l'industrie du jeu vidéo prend conscience de l'importance d'une catégorie de joueurs : ils ne s'intéressent pas aux jeux leaders du marché mais aux « casual games », de petits jeux de patience, de réflexion ou d'adresse qui pullulent sur Internet, tel Farmville. Les industriels réalisent que leur motivation diffère : un retraité, une mère de famille, un cadre, une étudiante n'abordent pas le jeu de la même manière. D'où l'idée de personnaliser le contenu selon leurs attentes. Pour capter ce public composé de joueurs moins occasionnels qu'il n'y paraît, les industriels développent le modèle du free-to-play.

Quelle est la raison du succès de ces jeux ?

Bien qu'ils soient gratuits, ces jeux ne sont pas des produits au rabais. Le free-to-play, c'est un accès au jeu illimité et total. Le joueur peut payer quelques centimes ou un peu plus, non pour gagner plus facilement ou prendre l'avantage sur un adversaire, mais pour accéder à du contenu accessoire, des objets pour sa maison, dans Les Sims par exemple. Certains joueurs sont toutefois prêts à dépenser beaucoup pour profiter d'un contenu optionnel de qualité : 10 % des utilisateurs assureraient ainsi 80 % des revenus d'un free-to-play. Ce sont eux qui financent le jeu et permettent aux autres d'en profiter gratuitement. Candy Crush ou Kingdom Rush constituent encore aujourd'hui l'essentiel des free-to-play, mais de grosses productions, tels League of Legends ou le jeu de rôle Star Wars, ont adopté ce modèle économique.

Comment les éditeurs s'y prennent-ils pour inciter à la dépense dans un jeu gratuit ?

Par profilage en quelque sorte. La plupart des free-to-play enregistrent les données de jeu en temps réel et les transmettent à l'éditeur. Leur analyse permet d'établir des statistiques d'usage et de dresser le profil d'un joueur en examinant par exemple ses heures de connexion et le temps qu'il consacre à une partie. L'éditeur peut alors lui proposer un contenu payant personnalisé. Un cadre supérieur plutôt pressé, accep-

tera de payer pour progresser plus vite dans un jeu; un étudiant, lui, sera attiré par un achat pour personnaliser son avatar. L'analyse des données permet en outre de suivre, en temps réel, les réactions des joueurs face à ces contenus et d'affiner l'offre. Mais les éditeurs doivent veiller à ce que le jeu reste attrayant pour tous. Les joueurs qui ne payent pas contribuent, par leur nombre et leur satisfaction, à sa notoriété, et constituent autant de clients potentiels. ✳

PROPOS RECUEILLIS PAR
Philippe Fontaine

SÉLECTION

Nouvelle expérience de multijoueur collaboratif

Evolve, le nouveau jeu d'action multijoueur des créateurs de Left 4 Dead, s'annonce intense! Exit les zombies, cette fois, quatre joueurs via leurs avatars, propulsés dans la jungle d'une planète hostile, coopèrent pour en éliminer un cinquième, un monstre aux pouvoirs dévastateurs. Les chasseurs possèdent des aptitudes complémentaires, soin, dégâts, soutien ou traque à exploiter au mieux pour survivre. La créature dévore les monstres qu'elle rencontre pour évoluer et accroître sa puissance. La chasse débute cet automne, sur PC et consoles HD.

Dans Evolve, l'union fait la force: quatre joueurs s'allient pour combattre un monstre. RIOT GAMES

7 millions

de PS4 ont été vendues depuis le lancement de la console en novembre dernier, selon Sony. Ce dernier a également indiqué avoir écoulé 20,5 millions de jeux, en boîte ou en téléchargement. Microsoft n'a pas tardé à réagir, annonçant la vente de 5 millions de Xbox One. Petit bémol toutefois, il s'agit des ventes de consoles... aux détaillants.

Les Sims 4: frustrant!

EA a confirmé qu'il sera impossible d'importer le contenu des éditions précédentes dans les Sims 4, dont la sortie est prévue cet automne sur PC. Les fans devront donc racheter toutes les nouvelles extensions permettant d'enrichir l'univers. Frustrant, d'autant que les nouveautés annoncées paraissent limitées.

Civilization à la conquête des étoiles

Pour la première fois depuis la création de la saga en 1991, le jeu de stratégie Civilization abandonne la Terre, qui vit ses dernières heures. Mais même dans l'espace, Civilization: Beyond Earth conserve les mécaniques qui ont fait le succès de cette saga: jeu au tour par tour, choix d'évolutions technologiques et solide mode multijoueur. Sortie cet automne, sur PC.

AMÉLIE BOHAS

Amélie Bohas est chercheuse à l'université Lyon-III, membre d'ÉcoInfo et enseigne à l'université Toulouse-I. Elle étudie la façon dont le « Green IT » est perçu par le public. DR

« NOS TÉLÉPHONES PORTABLES ? DES BOMBES ÉCOLOGIQUES ! »

Pourquoi les téléphones portables posent-ils problème, du point de vue environnemental ?

Il faut admettre que nos portables sont de vraies bombes écologiques ! Ils contiennent jusqu'à 60 éléments métalliques (plomb, indium, aluminium, nickel, zinc, or, argent…), plus des plastiques et des céramiques. C'est à la production que l'impact environnemental d'un téléphone est le plus négatif. Notamment lors de la fabrication des circuits imprimés, de la batterie lithium-ion ou du chargeur. Non seulement des polluants sont émis, mais cela participe à l'épuisement des ressources naturelles. Des matières comme l'indium, le gallium et les « terres rares » sont jugés d'accès critique sur le marché mondial. Or, d'autres industriels, comme ceux des énergies renouvelables, en ont besoin. La concurrence sur ces ressources va croître, et les gisements vont s'épuiser (voir les travaux d'ÉcoInfo).

Nos smartphones dernier cri ne sont-ils pas moins polluants ?

Au contraire, leur fabrication consomme beaucoup d'énergie. Par exemple, celle des « salles blanches » dont on purifie l'air pour produire les composants. Plus les téléphones sont complexes, plus ils nécessitent de sous-produits, plus les impacts sur l'environnement s'additionnent.

Ne suffit-il pas de les recycler ?

Nous gardons nos appareils seulement deux ans. Or, dans 75 % des cas, ils sont encore fonctionnels. Un gaspillage encouragé par les constructeurs et le marketing. Et tous ces téléphones dont on ne se sert plus ne partent pas au recyclage. On a du mal à se séparer de son doudou, et on ne sait pas toujours où les apporter pour qu'ils soient recyclés.

Où en est-on, sur ce sujet ?

Il faut poursuivre l'effort. Sur 25 millions de téléphones commercialisés en France, 1 million est récupéré. Un nombre croissant à relativiser, car le marché progresse lui aussi. Sans compter que le recyclage à 100 % n'existe pas. Des initiatives existent, comme cette plate-forme collaborative (ifixit.com) pour réparer les téléphones usagés, ou encore le « phone block » imaginé par Motorola avec ses composants séparables et recyclables.

PROPOS RECUEILLIS PAR
Aline Richard

http://ecoinfo.cnrs.fr

Lire aussi, « Votre smartphone est-il recyclé », DLR #9, avril/mai 2014

NOUVELLE FORMULE

ABONNEZ-VOUS

au magazine des nouvelles technologies et de la science appliquée

1 AN - 6 numéros

33€

au lieu de ~~41,40€~~*

Soit **20%** de réduction

Et recevez en cadeau

le marque-page magnétique signé La Recherche

BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner sous enveloppe affranchie à La Recherche - Service Abonnements - 17, route des Boulangers - 78926 Yvelines cedex 9

PDRC10

☐ **OUI, je souhaite m'abonner aux Dossiers de La Recherche : 1 AN - 6 numéros** au prix de **33€** au lieu de ~~41,40€~~* **soit 20% de réduction.**

☐ **Je préfère m'abonner à l'offre complète : 1 AN - 6 numéros des Dossiers de La Recherche + 12 numéros de La Recherche** au prix de **89€** au lieu de ~~118,20€~~* **soit 25% de réduction.**

Je recevrai le **marque-page magnétique** signé **La Recherche** quelque soit l'offre choisie.

J'indique ci-dessous mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code Postal : |_|_|_|_|_|

Ville : _____

Téléphone : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Si vous souhaitez recevoir des offres de notre part, merci de nous indiquer votre e-mail :

_____ @ _____

Je règle par :

☐ Par chèque à l'ordre de La Recherche ☐ Par carte bancaire

Numéro CB : |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|

Notez aussi les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de votre carte bancaire, au niveau de la signature : |_|_|_|

Expire fin : |_|_| |_|_|

Signature obligatoire

Sophia Publications - SA au capital de 7 615 531 € - 562 029 223 RCS Paris • **Service abonnements :** ✆ France : 01 55 56 71 15 - ✆ Etranger : 00 33 155 56 71 15 • **E-mail :** abo.recherche@groupe-gli.com

*Je peux acquérir séparément les Dossiers de La Recherche au prix de 6€90 et La Recherche au prix de 6€40. Offre réservée aux nouveaux abonnés valable jusqu'au 31/12/2014 dans la limite des stocks disponibles. Loi informatique et libertés : vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant. Elles pourront être cédées à des organismes extérieurs sauf si vous cochez cette case ❑.

ILLUSTRATION GABRIEL REBUFELLO

PILOTER LA MACHINE PAR LA PENSÉE

Les auteurs de science-fiction en ont rêvé, l'homme l'a fait. Aujourd'hui, il se dote de nouvelles capacités en intégrant des technologies à son propre corps. Parmi ses ultimes réalisations, les interfaces cerveau-machine, qui ne font rien de moins que de capter l'intention humaine pour commander un ordinateur ou un exosquelette.

Des chercheurs de l'Inria créent de nouvelles techniques d'interaction avec la réalité virtuelle en combinant la capture de mouvement et les interfaces cerveau-ordinateur. H. RAGUET/INRIA

LA MACHINE OBÉIT AUX NEURONES ET À L'ŒIL

Sans lever le petit doigt, sans élever la voix, juste avec la pensée, on peut diriger une machine ou un ordinateur. Si le champ d'application est encore réduit, la performance est bien réelle.

PAR
Anne Balleydier
ILLUSTRATION
Gabriel Rebufello

Il fallait un projet gonflé pour ouvrir la Coupe du monde de foot 2014, au Brésil. Quoi de plus extraordinaire que de montrer un adolescent handicapé taper dans un ballon en contrôlant par la pensée des jambes robotisées ? Une prouesse qui serait en outre proposée par un enfant du pays, Miguel Nicolelis, neurobiologiste expatrié aux États-Unis et qui a posé les bases de la technologie appelée l'interface cerveau-machine. À l'heure où ce magazine est mis sous presse, nous ignorons si sa démonstration a été un succès. Mais ce défi dévoile le chemin parcouru : longtemps cantonnée à la science-fiction, la communication avec les machines est aujourd'hui une réalité. Des applications ludiques sont déjà commercialisées. Des dispositifs d'assistance aux personnes handicapées sont en passe de l'être. Mais comment transforme-t-on les intentions d'un individu en commandes numériques ?

1. Tirer parti de l'activité cérébrale

Que vous soyez plongé dans de laborieux calculs d'arithmétique, en pleine action pour saisir une balle ou perdu dans vos pensées, les neurones de votre cerveau ne cessent d'échanger des messages chimiques et des impulsions électriques. Cette activité cérébrale peut être suivie en temps réel à l'aide d'électrodes. Disposées à la surface du cuir chevelu et reliées à un appareil de mesure, elles captent chacune les microcourants générés par des dizaines de millions de neurones. L'enregistrement, qui porte le nom d'électroencéphalogramme (EEG), retranscrit ainsi en partie la symphonie électrique jouée par vos neurones, avec ses changements de rythme et d'amplitude. Et cet EEG n'est pas le même lorsque vous êtes éveillé ou endormi, rêveur ou concentré, en pleine action ou immobile, etc. Mieux ! Grâce à son tracé, il est possible de repérer le moment où vous vous apprêtez à faire un geste : juste avant que votre main droite ne bouge, un signal électrique change dans le cortex moteur,

Juste avant que votre main droite ne bouge, un signal électrique change dans le cortex moteur, du côté gauche

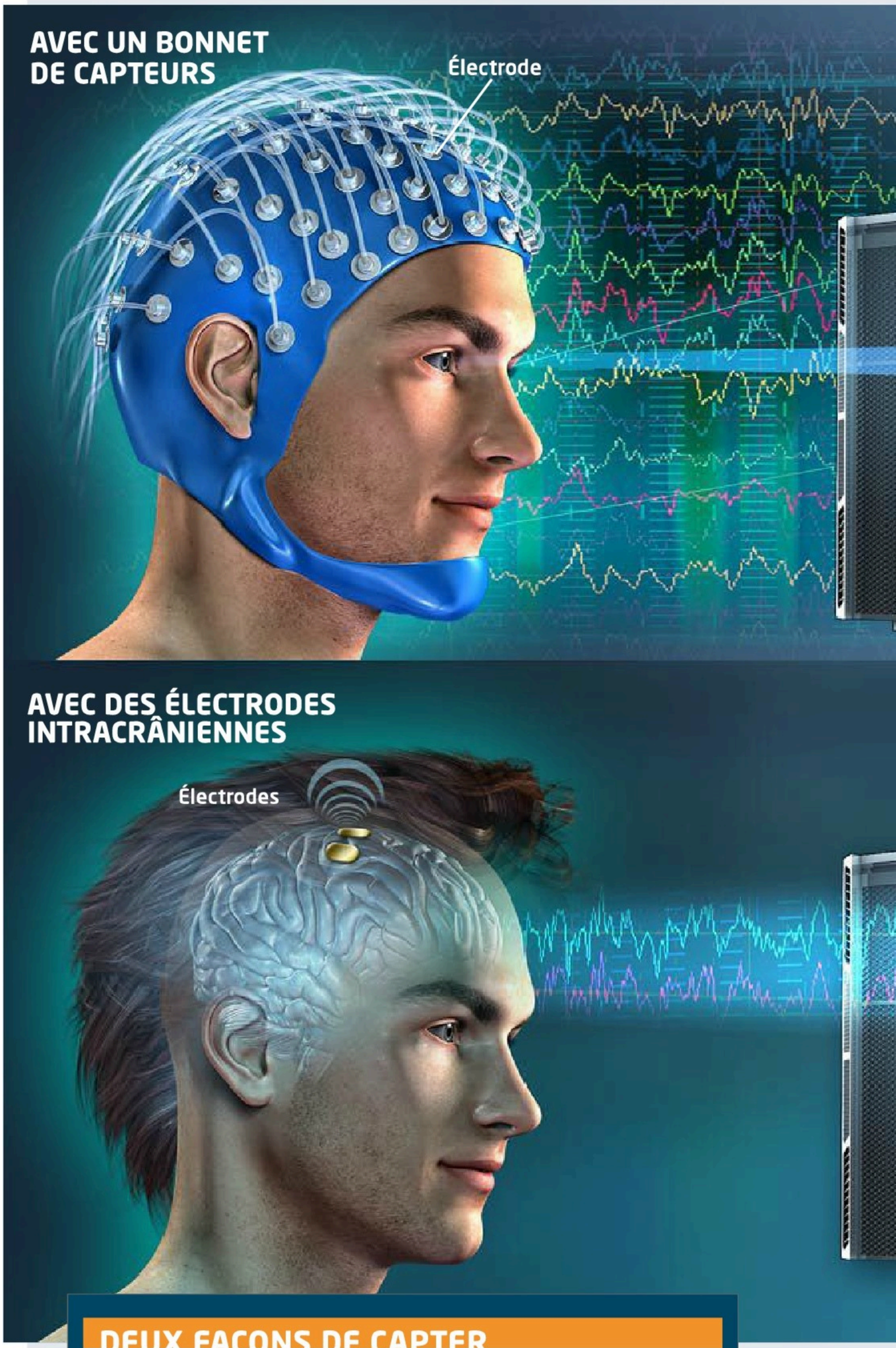
la partie de votre cerveau dévolue au mouvement, du côté gauche.

À l'université de Californie, l'ingénieur Jacques Vidal va exploiter ces possibilités. Il imagine dès 1973 d'utiliser l'EEG en transformant le signal électrique pour qu'il soit compréhensible par un ordinateur et qu'il permette de contrôler des robots. Une dizaine d'années plus tard, en plaçant les électrodes non pas au-dessus du crâne, mais dans le cortex, les neurobiologistes accèdent à un signal de meilleure qualité : lors d'une expérimentation sur un singe, l'enregistrement de quelques dizaines de neurones permet de prédire que l'animal va bouger son bras, mais aussi dans quelle direction le mouvement sera effectué !

Enregistrer, trier et interpréter les données cérébrales

Les années suivantes vont être celles du perfectionnement de la méthode. Meilleures performances des capteurs qui, d'une simple électrode, se transforment en matrices de plusieurs centaines d'électrodes, contribuant à améliorer la précision des prédictions. Puissance de calcul des ordinateurs à la hausse, pour faire le tri dans les signaux enregistrés. Point crucial que cette analyse des données. On y distingue plusieurs étapes, selon le type d'enregistrement.

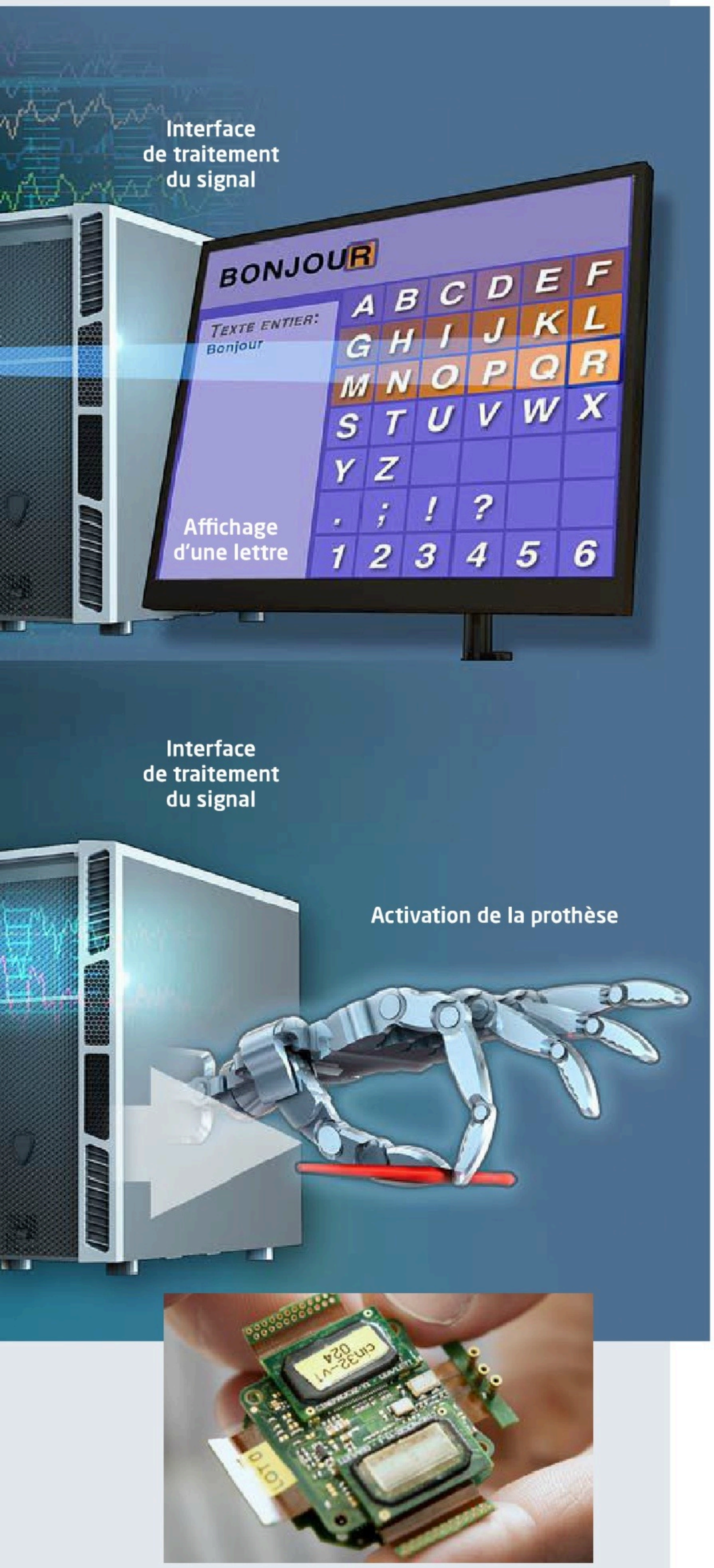
Lorsqu'ils sont captés à la surface de la tête, les signaux cérébraux avec lesquels on souhaite piloter l'interface ne sont pas les seuls qui sont enregistrés, comme l'explique François Cabestaing, spécialiste des interfaces cerveau-machine à l'université de Lille. « *Nous devons en quelque sorte nettoyer l'enregistrement, le filtrer pour éliminer les signaux parasites venant des mouvements du front, des clignements des yeux ou du battement du cœur.* » Ce filtrage s'effectue



INFOGRAPHIE MICHEL SAEMANN

DEUX FAÇONS DE CAPTER LES SIGNAUX DU CERVEAU

L'activité électrique du cerveau est enregistrée à l'aide d'électrodes sur le cuir chevelu tandis que le sujet lit la lettre qu'il veut sélectionner. Un ordinateur nettoie l'électroencéphalogramme des signaux parasites liés notamment au mouvement des yeux. Puis il y repère les informations utiles, comme un rythme cérébral donné. Ce dernier sert de commande à l'ordinateur pour cliquer sur la lettre.
En cas d'électrodes implantées dans le cerveau, le processus est identique. Mais le signal obtenu est de meilleur qualité : il suffit d'enregistrer l'activité de quelques centaines de neurones pour repérer le signal intéressant et actionner un bras robotique.



Conçu par le laboratoire Clinatec, à Grenoble, cet implant cérébral permettrait aux patients tétraplégiques de commander un bras robotisé.
DUNG VO TRUNG/LOOKATSCIENCES

en comparant les données acquises par les différentes électrodes, suivant des méthodes plus ou moins élaborées. Vient alors la seconde étape, celle de l'extraction des données pertinentes et de l'analyse à proprement parler.

Pour suivre l'activité cérébrale, que ce soit à l'aide de l'EEG ou de capteurs implantés, on s'appuie toujours sur plusieurs électrodes : au minimum deux, au maximum quelques centaines. Dans un premier temps, il s'agit de réduire la quantité d'informations à traiter. Pour cela, on se focalise souvent sur des rythmes caractéristiques : le rythme bêta, présent quand l'individu est attentif, ou le rythme alpha, plutôt typique de la rêverie, etc.

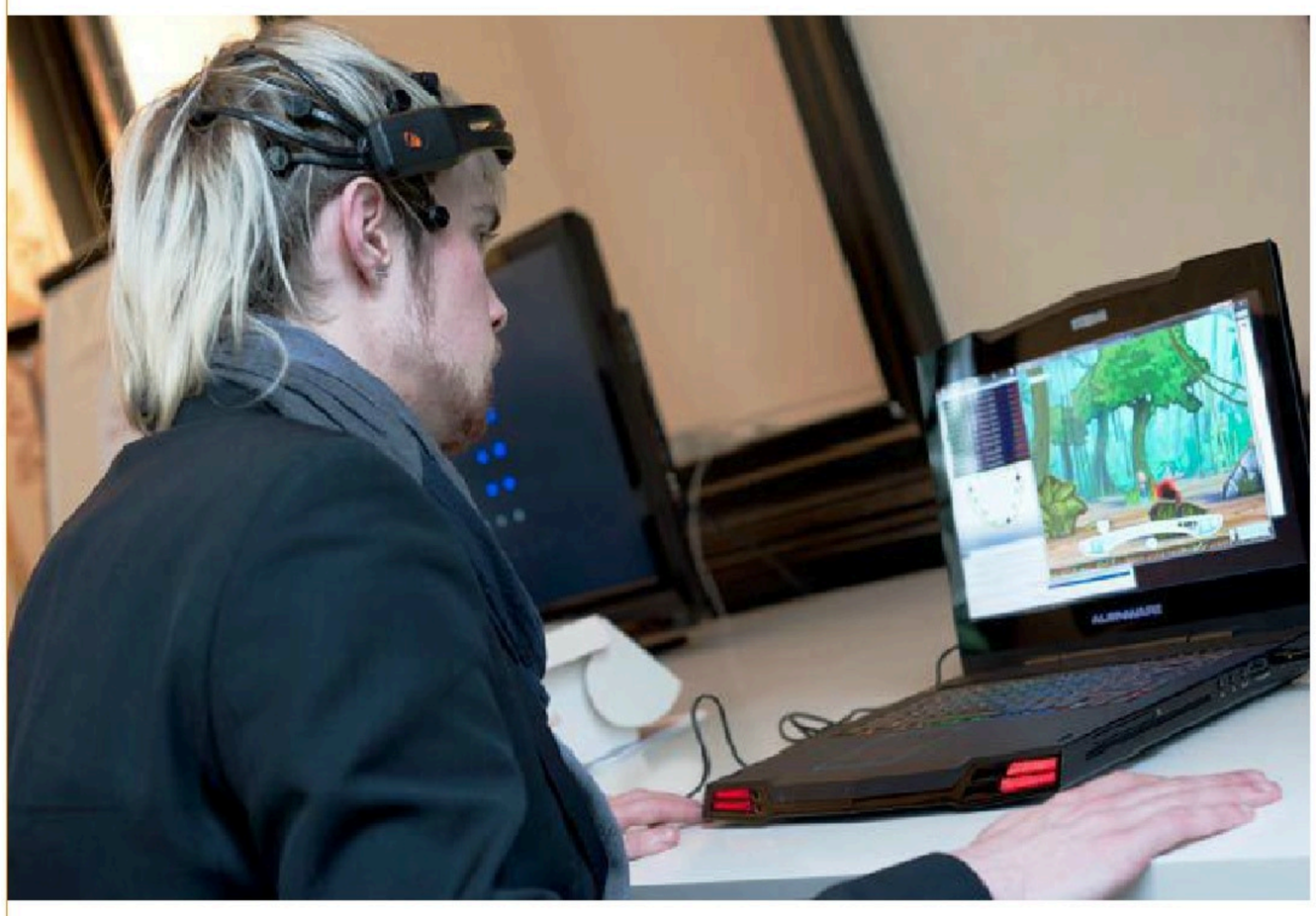
Grâce à des programmes informatiques dédiés, il convient ensuite de trier les résultats. Exemple : « *Le rythme mu, dont la fréquence tourne autour de 10 hertz, est habituellement très puissant dans le cortex moteur au repos,* explique Jérémie Mattout, du centre de recherche en neurosciences de Lyon. *Mais dès qu'une personne imagine faire un geste, il s'atténue fortement. Si le programme détecte cette baisse d'activité dans le cortex moteur du côté gauche, cela signifie donc qu'il y a une intention de bouger la partie droite du corps, par exemple la main ou le bras. Et la machine pourra l'interpréter comme un mouvement vers la droite.* » Une fois le traitement informatique du signal réalisé, l'ordinateur traduit le signal cérébral en commande. La baisse d'amplitude du rythme mu peut ainsi faire office d'interrupteur : sitôt repérée par l'ordinateur, elle est capable de déclencher la mise en route d'un robot ou de faire bouger un avatar dans un jeu vidéo.

10 hz

est la fréquence d'un des rythmes du cerveau. Sa baisse d'amplitude peut faire office d'interrupteur : sitôt repérée par l'ordinateur, elle est capable de déclencher la mise en route d'un robot ou de faire bouger un avatar dans un jeu vidéo.

2. Des intentions en guise de manettes

Il y a mille et une façons de piloter des jeux par la pensée. Par exemple, en s'appuyant sur nos intentions de mouvement, comme dans le jeu Brain Arena, imaginé par les chercheurs de l'Inria. Équipé d'un bonnet d'électrodes mesurant son EEG, le joueur doit vaincre son



La fée est menacée. Pour empêcher ses ennemis de s'approcher d'elle, le joueur déploie la force de sa concentration. Grâce au locigiel OpenVibe2, en cours d'expérimentation.
G. MAISONNEUVE/INRIA

partenaire en marquant des buts à gauche ou à droite de l'écran : pour expédier le ballon, il n'a qu'à imaginer le mouvement de sa main.

Conçu lui aussi par les chercheurs de l'Inria, Mind Shooter exploite la façon dont notre cerveau répond à une stimulation visuelle particulière. « *Le principe consiste à faire clignoter une image à une certaine fréquence,* commente Jérémie Mattout. *Car, dès qu'une personne y prête attention, cette même fréquence se trouve amplifiée dans les signaux que s'échangent les neurones de son cortex visuel.* » En pratique, trois icônes s'affichent à l'écran suivant des fréquences différentes : l'une est placée sur l'aile gauche de l'avion, l'autre sur la droite et la dernière au milieu. Grâce à l'interface, l'ordinateur détecte précisément où se fixe notre attention. Et cela permet de contrôler la direction du vol ou de déclencher un tir de missile sur les vaisseaux ennemis.

Un outil de contrôle parental ou de rééducation

Pour l'heure, ces jeux développés dans le cadre du projet de recherche français OpenVibe2 ne sont qu'au stade de prototypes. Avant d'être commercialisés, ils devront attendre la mise au point de casques EEG grand public (lire ci-contre) aussi performants que les bonnets d'électrodes des scientifiques. D'ici là, les chercheurs entendent bien élargir les champs d'application de leurs interfaces. Par exemple, pour en faire des accessoires qui limitent l'impact des jeux vidéo.

Jouer n'est en effet pas sans danger. Le risque numéro un, face à un petit écran, c'est la fatigue oculaire et nerveuse. Or les courants que s'échangent les neurones dans notre cortex visuel ne sont pas les mêmes si l'on fixe une scène ou si notre mental est au repos. Ce changement est particulièrement net au niveau du rythme alpha, qui diminue avec la concentration et augmente avec la relaxation. D'où l'idée de le surveiller avec des électrodes placées à l'arrière du crâne. « *Nous pourrions peut-être en faire un outil de "contrôle parental", qui empêche l'enfant de passer d'une étape à une autre tant qu'il ne s'est pas suffisamment reposé* », souligne Jérémie Mattout. Une logique similaire à celle de BCI Training Center, un jeu d'entraînement cérébral en cours de développement : il adapte en permanence son niveau de difficulté à l'état de concentration ou de relaxation de son utilisateur.

Autre objectif visé par les interfaces cerveau-machine : la rééducation. Quel que soit le matériel

DES ERSTAZ SUR LE MARCHÉ

Les casques EEG disponibles sur le marché ne sont en rien comparables aux bonnets dotés de dizaines d'électrodes qu'utilisent les scientifiques. Les interfaces cerveau-machine intéressent pourtant les industriels du jeu vidéo. À l'image d'OpenVibe2, projet français piloté entre autres par l'Inria, ils sont aujourd'hui partie prenante de nombreux programmes de recherche.

Le casque EEG MindWave, commercialisé depuis trois ans par la firme américaine Neurosky, ne possède qu'une électrode : il capte donc surtout du bruit parasite, dû aux mouvements du front et des yeux.

L'Emotic Epoc, son rival, développé par l'entreprise australienne Emotiv, est plus cher et pourvu de 14 capteurs. Mais si les scientifiques peuvent l'utiliser en traitant eux-mêmes les données brutes recueillies, il n'en va pas de même pour le joueur lambda. Rien ne permet ainsi de s'assurer, par exemple, que le bruit a été correctement filtré. Quant à la mesure des émotions, revendiquée par le constructeur, aucun scientifique n'est capable de les détecter dans le tracé d'un EEG.

Le Magazine Littéraire

FICTIONS de la PSYCHANALYSE

Freud, ce romancier autrichien

Pourquoi les écrivains se méfient des analystes

Perec, Bauchau, Leiris : des livres sur le divan

utilisé, les jeux pilotés par la pensée demandent en effet un temps d'adaptation. Une vingtaine de minutes sont ainsi nécessaires pour calibrer les programmes informatiques, leur permettre de reconnaître et de trier correctement les rythmes des signaux qui viennent du cerveau. Mais surtout, le joueur doit apprendre à manier l'interface, pour piloter le jeu. Or cela revient à moduler les signaux émis par ses propres neurones, en « reconfigurant » les connexions cérébrales. D'une certaine manière, il y a ainsi moyen d'« éduquer » ou de « rééduquer » les neurones, en les poussant à réactiver des circuits abandonnés. Et c'est tout l'objectif du neurofeedback, ou retour neuronal, une technique née aux États-Unis et développée depuis le début des années 1970. Notamment pour venir en aide aux enfants souffrant d'un trouble du déficit de l'attention.

Il est désormais possible de « rééduquer » les neurones en les poussant à réactiver des circuits abandonnés

« *Si les jeunes ont parfois du mal à se concentrer, ils sont capables de rester longtemps attentifs devant leurs jeux vidéo,* précise Jérémie Mattout, *et nous pourrions en tirer parti.* » Le principe consiste à relier le jeu à plusieurs rythmes d'activité cérébrale censés refléter l'attention (rythme bêta), la rêverie (alpha) et la somnolence (thêta). Un bonnet d'électrodes sur la tête, l'enfant doit se concentrer pour atteindre, par exemple, une vitesse maximale au volant de sa voiture. Plus le niveau de bêta augmente, plus ceux d'alpha et thêta baissent, et meilleures sont ses chances d'y parvenir. L'inconvénient, d'après Jérémie Mattout, c'est qu'« *on part du postulat qu'il faut manipuler ces rythmes, sans être certains qu'ils soient de bons marqueurs du trouble de déficit de l'attention* ». Son équipe planche donc aujourd'hui sur les P300, des signaux électriques mesurés sur le cuir chevelu dans les 300 millisecondes qui suivent une stimulation, et dont la présence révèle davantage un effort d'attention.

Leur utilisation ne date pas d'hier : c'est avec eux que les psychologues américains Larry Farwell et Emanuel Donchin ont mis au point la première interface cerveau-machine, baptisée P300 Speller. Elle a été inventée à la fin des années 1980 pour venir en aide aux personnes qui, à la suite d'une maladie ou d'un accident, sont incapables de bouger et de parler. Comment s'en sert-on ? Des lettres et des chiffres, ordonnés en lignes et colonnes, brillent à tour de rôle sur l'écran d'un ordinateur. Pour sélectionner un symbole, il s'agit de compter le nombre de fois où il est ainsi flashé. Car dans les 300 millisecondes,

CHRONO

LES INTERFACES CERVEAU-MACHINE EN 6 DATES

1924

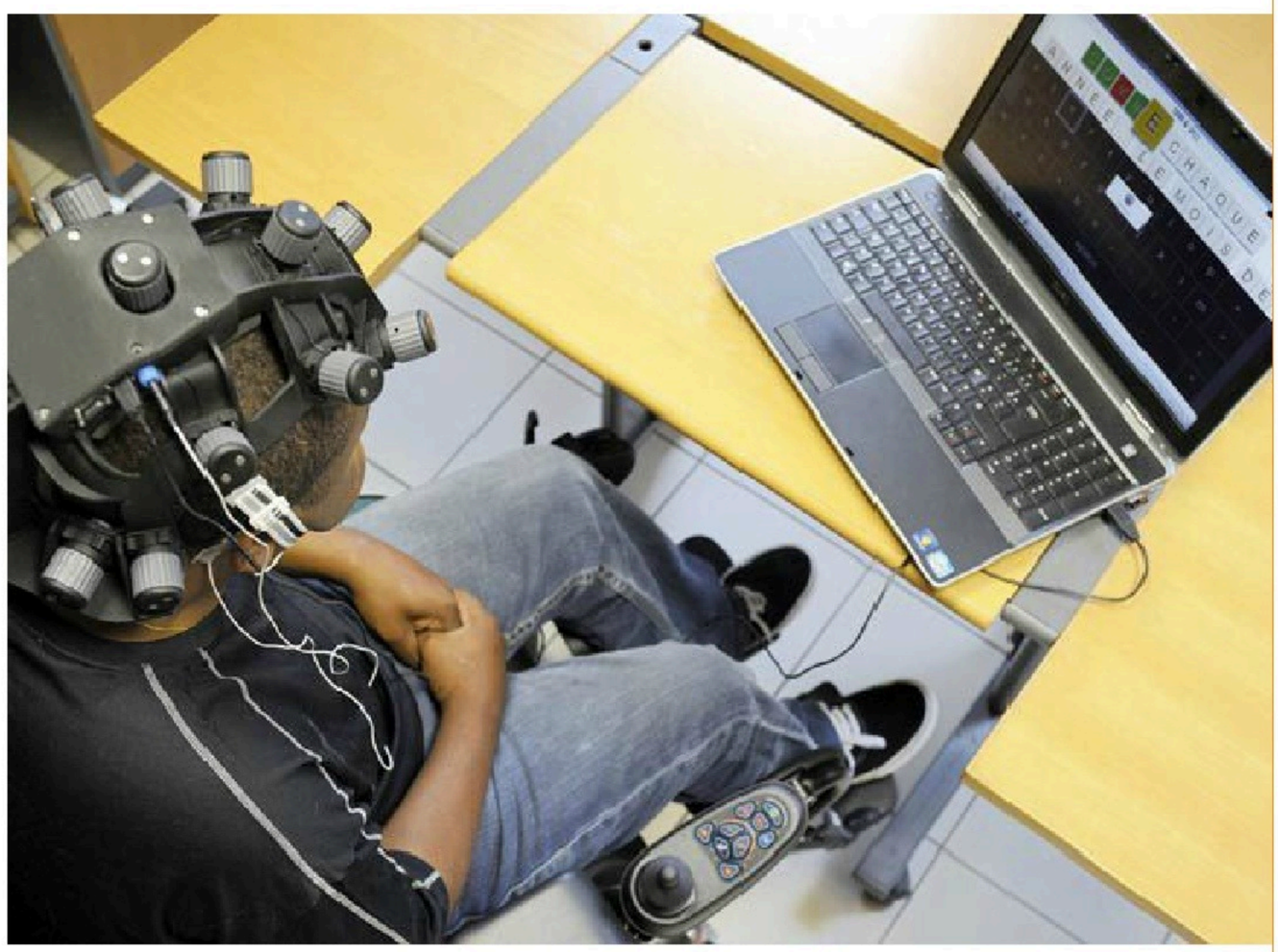
Hans Berger, neurologue allemand, enregistre le premier électroencéphalogramme (EEG). DR

1973

Jacques Vidal, ingénieur belge, invente sur le papier le concept d'interface cerveau-machine. UCLA

1988

Emanuel Donchin (photo) et Larry Farwell, psychologues américains, mettent au point, chez l'homme, la première interface cerveau-machine qui s'appuie sur l'EEG. DR



Coiffé du prototype Robik, Mickael, handicapé après un accident vasculaire cérébral, écrit en fixant une lettre sur un clavier affiché sur l'écran de l'ordinateur.
ÉLISABETH SCHNEIDER/LOOKATSCIENCES

cette tâche cognitive entraîne un signal électrique repérable dans l'électroencéphalogramme. Dès lors, l'ordinateur n'a plus qu'à calculer les coordonnées spatiales du symbole pour pouvoir afficher des mots puis des phrases. Le temps nécessaire pour y parvenir a diminué d'un facteur dix ces dernières années : il peut atteindre une seconde par lettre. Et aujourd'hui, si des recherches se poursuivent pour en accroître encore la rapidité et l'ergonomie, cette interface fait déjà l'objet d'évaluations cliniques encourageantes.

3. Des électrodes à l'intérieur du cortex

L'interface P300 n'est pas la seule destinée à améliorer le quotidien des personnes handicapées. Du Japon à l'Autriche en passant par la Suisse, plusieurs équipes étudient les moyens de piloter des fauteuils roulants avec des commandes cérébrales. Mais côté mobilité, les recherches vont beaucoup plus loin. Grâce à des électrodes implantées dans le cerveau, on peut aujourd'hui actionner des jambes ou des bras robotisés.

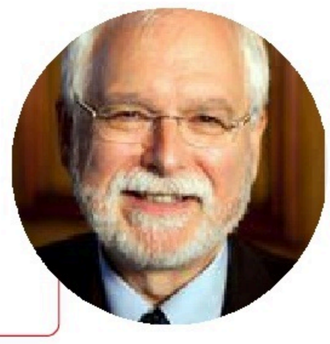
Plus on enregistre les neurones en profondeur, plus le signal gagne en qualité. D'abord parce qu'à l'intérieur de la boîte crânienne, il n'y a pratiquement plus de signaux parasites, ce bruit qu'il faut éliminer de l'enregistrement. Ensuite, en raison de la diminution du nombre de neurones à traiter. D'une dizaine de millions sur le cuir chevelu, le nombre de neurones enregistrés par une électrode passe à quelques centaines de milliers à la surface du cortex, et à moins d'une dizaine à l'intérieur de l'organe. Comme le souligne François Cabestaing, « *moins on suit de neurones, plus on obtient un enregistrement fidèle de leur activité, et mieux on peut les localiser* ». En captant plus finement les courants échangés entre les

1999/2000

Miguel Nicolelis (photo) et John Chapin, physiologistes brésilien et américain, captent pour la première fois les intentions de rats et de singes grâce à des implants cérébraux.
DUKE UNIVERSITY

2004

Philip Kennedy, neurologue américain, permet à un patient de communiquer, à la vitesse de 3 caractères par minute, et de fléchir le doigt d'une main virtuelle, grâce à une interface à base d'implants cérébraux. DR



2012

John Donoghue, neuroscientifique américain met au point une interface implantée qui permet à une patiente tétraplégique de piloter un bras robotisé.
BROWN INSTITUTE FOR BRAIN SCIENCE

1 seconde

par lettre, c'est la vitesse à laquelle une personne ne pouvant ni bouger ni parler peut écrire un texte sur un écran d'ordinateur en utilisant l'interface cerveau-machine P300 Speller.

neurones, l'enregistrement intracrânien permet de mieux prédire le geste qu'un individu souhaite effectuer, dans l'objectif de le faire exécuter en temps réel par une prothèse articulée.

L'introduction d'électrodes à l'intérieur du cerveau pose néanmoins quelques problèmes. Il y a d'abord les dommages que l'on peut causer par accident aux tissus cérébraux. Les électrodes sont heureusement devenues aussi fines et souples que des cheveux, ce qui rend leur usage moins risqué. Reste que leur intrusion dans le cerveau déclenche une réaction : des cellules s'agglutinent sur la pointe des électrodes et perturbent l'enregistrement du courant.

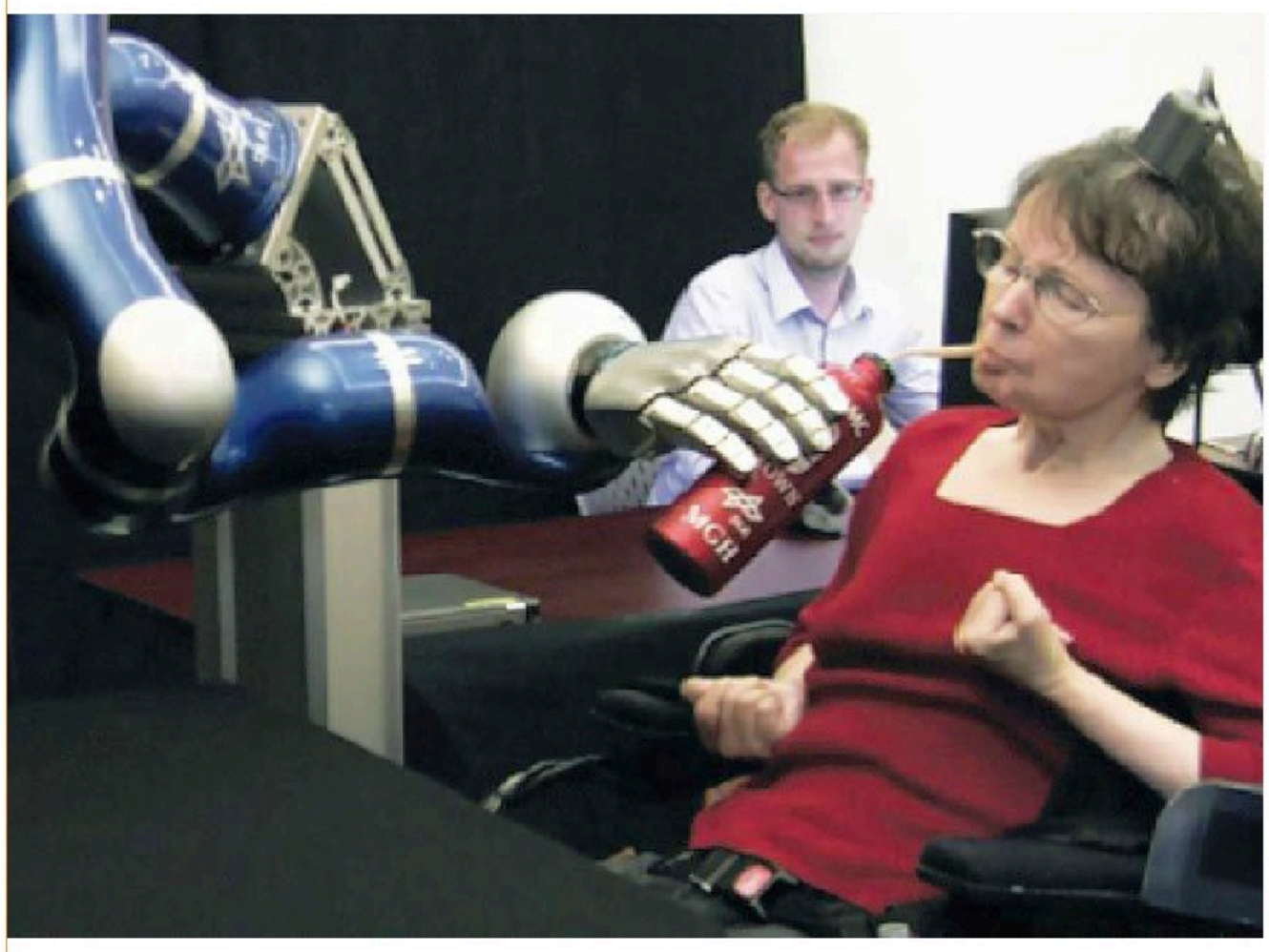
Les électrodes sont heureusement devenues aussi fines et souples que des cheveux, ce qui rend leur usage moins risqué

À l'Inserm et à l'École des mines, on planche donc sur des capteurs en matériau organique, 100 % compatibles avec le vivant. Et puis, comme le souligne François Cabestaing, « *au lieu d'enregistrer en profondeur dans le cortex, la tendance actuelle consiste à greffer des capteurs à la surface du cerveau, au niveau de la membrane qui le protège* ». Il n'empêche. Pour des questions d'éthique, les interfaces implantées ne sont pour l'heure expérimentées sur l'homme que dans des conditions particulières. « *Exception faite de rares patients aux États-Unis, on les teste exclusivement chez des personnes dont le crâne est ouvert pour les besoins de planification d'un acte chirurgical, en cas d'épilepsie sévère et résistante aux médicaments* », confie Jérémie Mattout. S'y ajoutent néanmoins les cas de quelques tétraplégiques qui défraient la chronique en se portant volontaires, comme Cathy Hutchinson.

À la suite d'une attaque cérébrale, voilà plus de quinze ans, l'Américaine alors quadragénaire se retrouve incapable de bouger et de parler. Quand on lui propose en 2005 de participer à des essais pour surmonter son handicap, elle accepte sans hésitation.

À l'époque, dans l'état de Rhode Island, dans le nord-est des États-Unis, John Donoghue teste sur l'homme une interface implantée. L'objectif se limite alors à contrôler le déplacement d'un curseur sur un écran. Et les critiques vont bon train : il est possible de le faire sans ouvrir le crâne, avec des capteurs d'EEG posés sur la tête ! Mais le chercheur persiste : dans le laboratoire américain de Miguel Nicolelis, des singes dotés d'implants cérébraux sont parvenus à piloter un robot ! John Donoghue entend bien en faire profiter l'homme. C'est chose faite en 2011 : Cathy n'a qu'à imaginer son mouvement pour qu'un bras motorisé saisisse une Thermos et lui fasse siroter son café à travers une paille. « *En vérité, le geste est un peu maladroit et le robot effectue une grande partie du mouvement, soit de manière automatique, soit sous le regard expérimenté d'un technicien qui vérifie que les signaux sont corrects, que les branchements ne bougent pas, etc.* », nuance François Cabestaing.

La démonstration ouvre néanmoins de nouvelles perspectives pour ces interfaces dites « invasives ». Alors, de part et d'autre de l'Atlantique, deux équipes se lancent dans une course folle pour les améliorer. Aux États-Unis, Miguel Nicolelis pilote ainsi le projet Walk Again,



Lors d'une expérience menée par John Donoghue en 2011, Cathy Hutchinson, tétraplégique, commande un bras robotisé en imaginant le mouvement. AP/SIPA

qui s'est donné pour objectif de faire remarcher des adolescents paralysés : enveloppant leurs jambes, un exosquelette motorisé sera animé par les signaux électriques de leur cerveau (lire « Exosquelette, un robot prêt-à-porter », p. 59). En France, Alim-Louis Benabid et les chercheurs de Clinatec (CEA, Inserm, CHU de Grenoble) espèrent eux aussi redonner de l'autonomie à ces personnes, avec le même genre de technologie.

La possibilité d'implanter de faux souvenirs

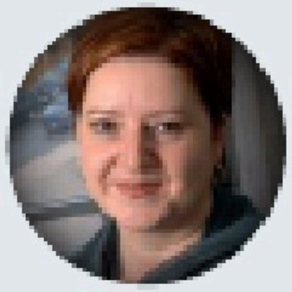
Pionnier dans le domaine des enregistrements profonds de l'activité du cerveau, Miguel Nicolelis prévoit d'implanter dans le cortex moteur de ses volontaires des capteurs contenant jusqu'à 1 000 électrodes et pouvant suivre chacun l'activité de 4 000 à 6 000 neurones. Les signaux mesurés seront prétraités dans des micropuces puis transmis par un système sans fil à un ordinateur installé dans un sac à dos. Une méthode similaire à celle que compte mettre en œuvre Alim-Louis Benabid. À cela près que ses capteurs comptent moins d'électrodes (une soixantaine) et seront greffés à la surface du cerveau.

Dans un cas comme dans l'autre, les messages décodés par le logiciel de l'ordinateur seront convertis en commandes mécaniques pour actionner les différentes articulations de l'exosquelette. Mais, fort de ses expériences sur les singes, Miguel Nicolelis souhaite équiper la

EXPLOITER L'ENSEMBLE DU SYSTÈME NERVEUX

Loin de se contenter des seules informations issues du cerveau pour contrôler des mouvements, les interfaces hybrides misent sur l'exploitation de tous les signaux disponibles produits par le système nerveux. À l'université et au CHRU de Lille, François Cabestaing et son équipe souhaitent ainsi développer des interfaces tirant parti des signaux enregistrés dans le cerveau, dans les nerfs et dans les muscles. L'idée consiste à en équiper des personnes handicapées par une maladie évolutive (par exemple, la myopathie de Duchenne). Au fur et à mesure de la progression de leur maladie, certains capteurs prendraient le relais sur d'autres. De cette façon, un patient pouvant au départ piloter son fauteuil roulant à la main le ferait ensuite via les capteurs musculaires, puis nerveux, et enfin cérébraux.

3 Q À



FÉLIX IMHOF/UNIL

DANIELA CERQUI DUCRET
Anthropologue à l'université de Lausanne

« QUELLE HUMANITÉ EST-ON EN TRAIN DE CONSTRUIRE ? »

Quelles questions soulèvent ces technologies ?

On avance souvent le risque de contrôle qui pourrait être pris sur le cerveau d'une personne. On peut toutefois prendre de la distance et envisager ces technologies non pas comme le point de départ, mais comme l'aboutissement d'une réflexion : quelle image se fait-on de l'humain, de la vie en société, pour en arriver à produire des technologies comme celles-là ?

Et justement, que répondriez-vous ?

Nous avons un mythe fondateur selon lequel la technologie est le propre de l'homme. Si l'on prend ce point de départ et qu'on le tire jusqu'à nos sociétés actuelles, alors nous allons vers plus d'humanisation. Nous développons chaque jour davantage de technologies, et nous sommes en train de les intérioriser.

Cette évolution n'a-t-elle rien d'inquiétant ?

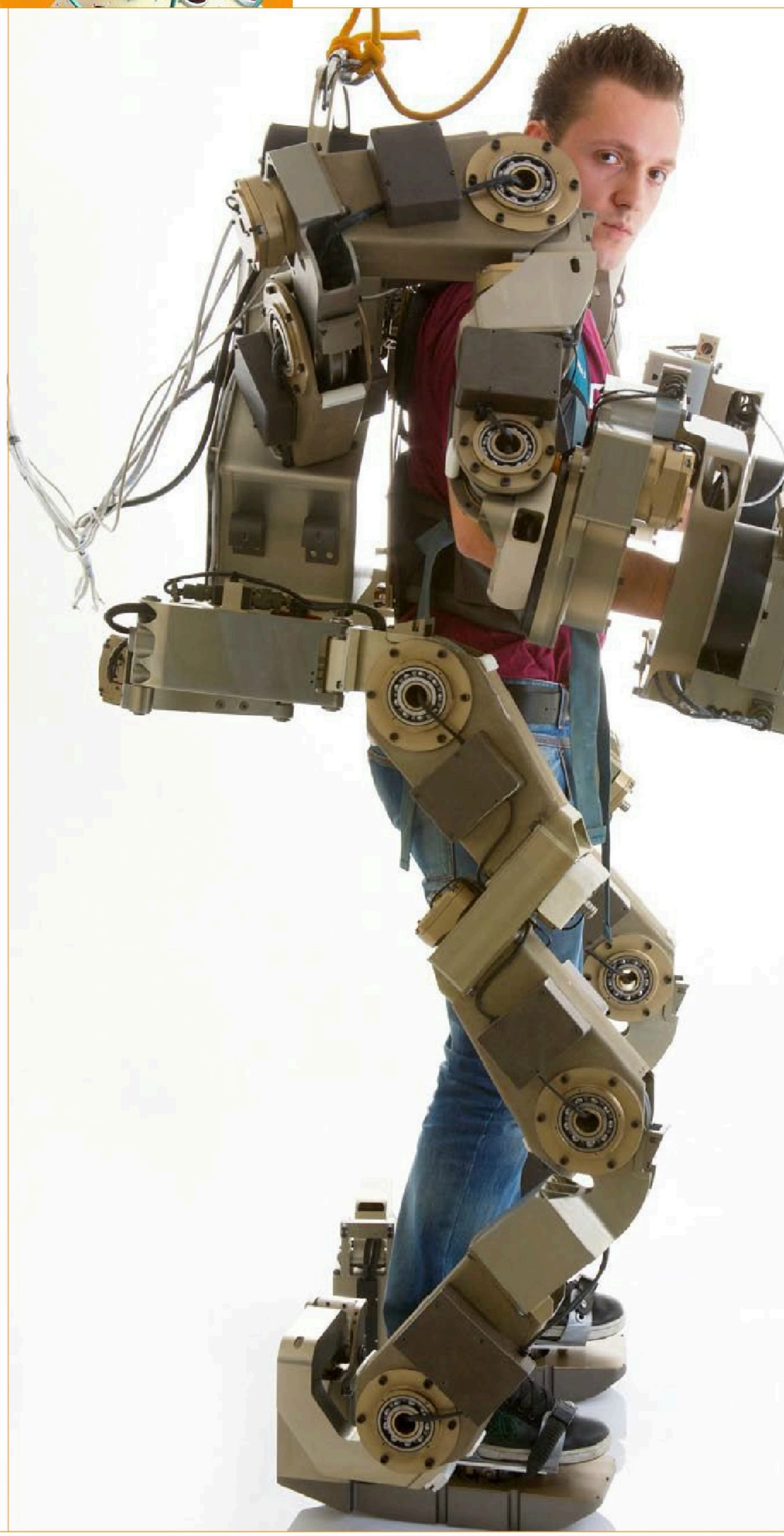
Si, même s'il y a aujourd'hui beaucoup d'espoirs attachés aux interfaces cerveau-machine, comme celui de vaincre le handicap. Mais en réalité, il est probable qu'en raison de leur coût, elles ne seront pas à la portée de tous. Les personnes handicapées qui ne pourront pas se les payer seront donc encore plus stigmatisées. Et si l'on se place un cran au-dessus, étant entendu que la frontière entre thérapie et amélioration des capacités humaines est très floue, il y a la question de l'humanité que l'on est ainsi en train de construire. ✳

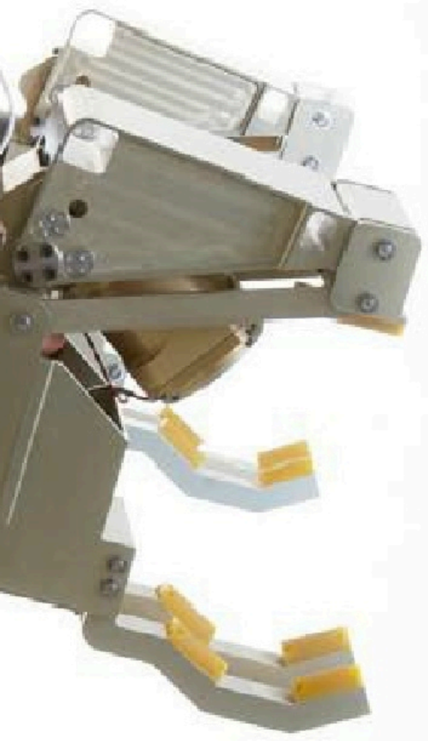
100 % biocompatible et à implanter dans le cerveau, ce système de capteurs conçu par l'Inserm et l'École des mines comprend un transistor qui améliore la qualité du signal. GEORGE MALLIARAS ET CHRISTOPHE BERNARD

machine de détecteurs procurant une sensation de toucher et d'équilibre. Une option qui ne semble pas être prise à Clinatec.

Ces technologies pourront-elles changer le quotidien des handicapés ? « *Si l'objectif final, c'est de faire marcher des personnes paralysées, alors mieux vaut exploiter davantage de données que les seuls signaux venant du cerveau* », estime François Cabestaing, qui voit plutôt l'avenir dans des systèmes hybrides (lire « Exploiter l'ensemble du système nerveux », p.57). Mais le principal obstacle à leur diffusion, ce sont les craintes de manipulations incontrôlées des humains. Certaines découvertes attisent en effet les inquiétudes…

Début 2013, l'équipe de Miguel Nicolelis faisait la une de l'actualité : les chercheurs avaient relié les cerveaux de deux rats distants de plusieurs milliers de kilomètres, par le biais d'électrodes et d'une connexion internet. Toujours chez les rongeurs, une autre équipe se vantait de pouvoir implanter de faux souvenirs. Voilà de quoi effrayer tout un chacun. Si des implants sont autorisés pour surmonter le handicap, ne risque-t-on pas de voir certains humains transformés en surhommes ? Et à qui profiteront vraiment ces technologies ? « *Aujourd'hui, le problème n'est plus vraiment d'ordre technique,* conclut François Cabestaing. *Les recherches progressent et nous pouvons imaginer toutes sortes d'applications pour nos interfaces. Mais reste à voir si nous pouvons l'envisager d'un point de vue éthique.* » ✳





Modèle italien doté de quatre membres robotisés, le Body Extender décuple les forces de son utilisateur. Il peut notamment servir au sauvetage des victimes de catastrophes naturelles.
MASSIMO BREGA/LOOKATSCIENCES

Exosquelette, un robot prêt-à-porter

Plus de soixante ans de recherche ont été nécessaires pour faire de la fiction une réalité. Aujourd'hui, on parvient à installer un homme à l'intérieur d'un robot pour en décupler les forces ou l'aider à réaliser certaines tâches. Les premiers exosquelettes arrivent sur le marché.

PAR
Rafaële Brillaud
à Nara (Japon)

Même au repos, enchaînée à son armature, la machine en impose. Qu'on en juge par les chiffres : 230 kg de métal, des bras de 2 mètres de long et de 50 kg chacun qui s'achèvent en une paire de doigts offrant une effroyable pression de 300 kg. Installée au milieu du hall de la petite entreprise Activelink, filiale de Panasonic sise à Nara au Japon, l'ossature volumineuse et musclée attire d'emblée le regard. «*Vous vous souvenez de l'exosquelette utilisé par Sigourney Weaver dans* Aliens, *le film de James Cameron ? Eh bien le voilà, nous l'avons fait !*» annonce sans ambages Motoki Nakano, ingénieur à Activelink.

Le Power Loader semble fraîchement débarqué d'une œuvre de science-fiction tant sa silhouette démesurée rompt avec notre environnement quotidien. Sur invitation, je me glisse dans la peau de l'actrice américaine et prends place. Je m'assieds sur la selle, mets mes pieds dans les chaussures, fixe la ceinture. En trois fixations seulement, la transformation est faite. J'attrape les poignées et la bête se laisse manipuler avec une étonnante facilité : des capteurs d'intention au niveau des mains détectent mes mouvements et les amplifient. Je bouge et les deux gigantesques bras m'accompagnent naturellement. Le personnel d'Activelink s'écarte légèrement. Bel indice que mes forces sont désormais décuplées.

L'engin surréaliste d'Activelink incarne l'ambition originelle des exosquelettes : créer une combinaison robotisée, une armature externe

Avec ses 230 kg de métal et sa poigne de fer, le Power Loader d'Activelink joue la carte du rêve.
PANASONIC

(du grec ancien *exo,* qui signifie «hors de») transformant l'opérateur en surhomme. Donner vie au personnage de fiction Iron Man, c'est-à-dire construire un homme augmenté, doté de superpouvoirs.

Alors que cet objectif ambitieux semble de nos jours à portée de boulons grâce au Power Loader, quantité d'autres projets choisissent pourtant de s'en écarter et visent des tâches plus spécifiques et donc plus accessibles. Baptisés ReWalk, Hercule ou Hal, ces prototypes déclinent leurs fonctions dans les domaines médicaux, militaires, d'aide aux personnes âgées ou d'assistance en général. Et grâce à leur approche plus pragmatique, ils débarquent sur le marché !

Les premiers exosquelettes ont été imaginés dès les années 1950, avant même l'avènement des robots manipulateurs dans le domaine de l'industrie manufacturière. Et, dans les années 1960, plusieurs projets sont présentés avec l'objectif d'augmenter les performances motrices des sujets auxquels ils sont connectés, c'est-à-dire la force ou l'endurance de fantassins ou d'ouvriers.

Le projet Hardiman (Human Augmentation Research and Development Investigation), menée par General Electric en collaboration avec des chercheurs de l'université de Cornell, aux États-Unis, souhaite ainsi amplifier les capacités du corps pour soulever des poids allant jusqu'à 680 kg ! Hélas, la machine elle-même pèse trois quarts de tonne. Elle se révèle par conséquent extrêmement gourmande en énergie et

L'ambition originelle est de donner vie au personnage de fiction Iron Man, c'est-à-dire construire un homme augmenté

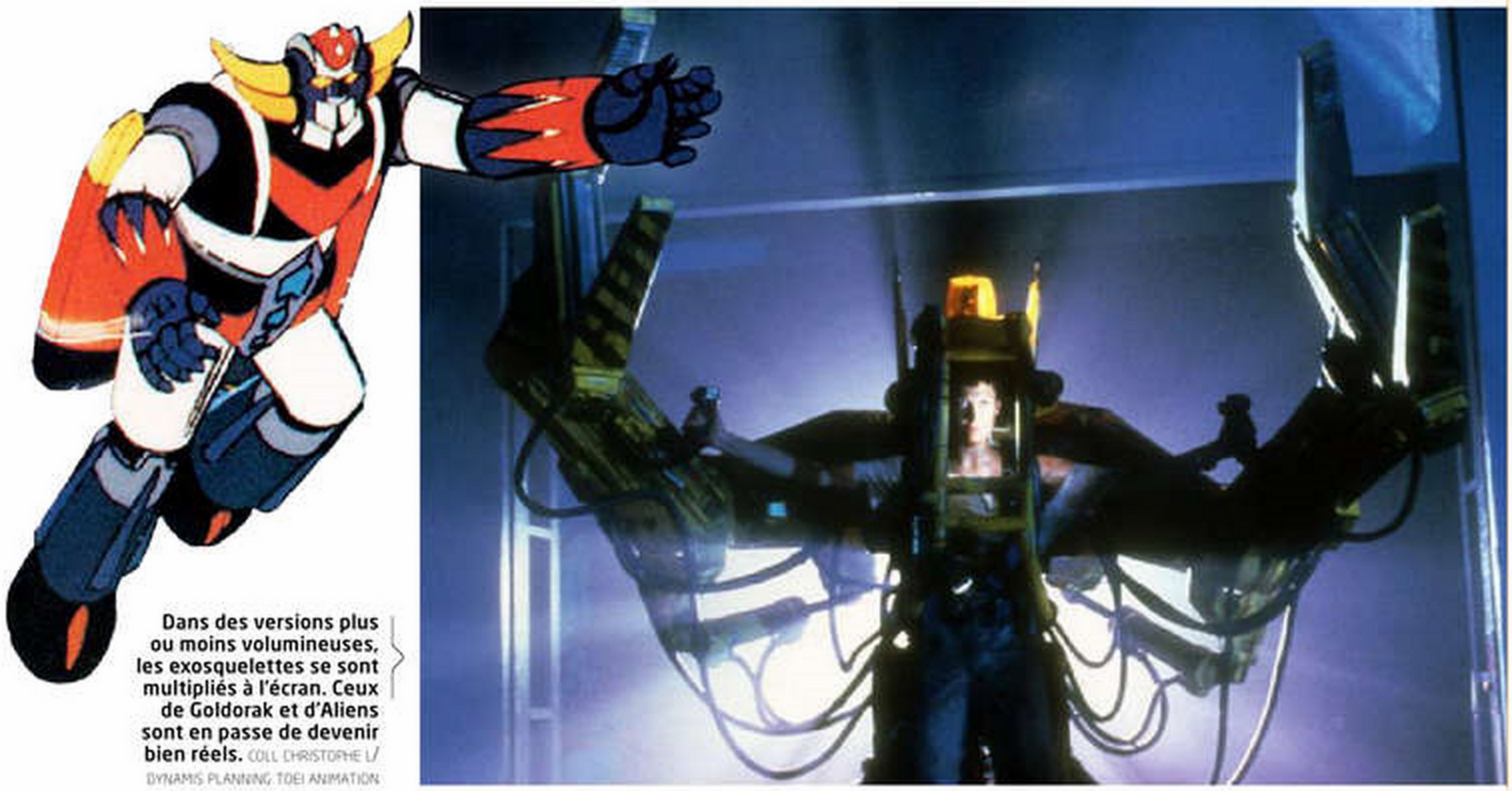
ne deviendra jamais opérationnelle dans sa totalité. Seul un bras, soulevant 340 kg, est validé en 1966.

Des superpouvoirs mais des faiblesses de taille

Dans la pratique, l'élaboration de ces monstres pose toujours les mêmes problèmes technologiques : un poids ingérable, une faible autonomie, un manque de coordination entre l'homme et la machine. Autant d'obstacles au déploiement de ces prototypes hors des laboratoires où ils voient le jour. Ces travaux pionniers permettent néanmoins de matérialiser et d'entretenir le rêve de l'homme augmenté. Mais si l'exosquelette peine à devenir réalité, il peuple l'imaginaire nippon à une époque où des hordes de créatures artificielles envahissent l'Archipel. « *En 1972, dans le manga* Mazinger Z, *Go Nagai dessina pour la première fois un petit garçon à l'intérieur d'un robot géant, le "mecha",* raconte Jean-Claude Heudin dans *Robots et Avatars. Le robot était devenu une armure de protection et le frêle garçon pouvait se transformer à volonté en un être surpuissant grâce à cette gigantesque prothèse technologique. Entre 1972 et 1980, plus d'une trentaine de séries du même genre furent diffusées sur le petit écran, dont le célèbre* Goldorak *également diffusé en France.* »

Mecha et exosquelette sont légèrement distincts. Le premier décrit un robot contrôlé par un humain prenant place directement dans le corps de la machine. Il est piloté, c'est une sorte de véhicule anthropomorphe. Le second, lui, est revêtu par l'utilisateur et se superpose à ses mouvements. Au Japon, les deux sont souvent associés et leur esthétique s'inspire de l'image mythique du samouraï en armure, comme en témoignent Mazinger Z ou Goldorak.

Par le biais des mangas et films d'animation largement diffusés en dehors de l'Archipel, le mecha fait progressivement son apparition dans les productions hollywoodiennes : dans *Aliens, le retour,* de James



Dans des versions plus ou moins volumineuses, les exosquelettes se sont multipliés à l'écran. Ceux de Goldorak et d'Aliens sont en passe de devenir bien réels. COLL. CHRISTOPHE L/ DYNAMIC PLANNING, TOEI ANIMATION

Cameron en 1986, dans *Matrix Revolutions*, des frères Wachowski en 2003, dans *Transformers* de Michael Bay en 2007.

Un challenge lancé par les militaires

Les armures géantes bénéficient d'une grande popularité dans l'univers de la science-fiction, mais il faut attendre 2001 pour qu'elles se concrétisent. Cette année-là, l'agence américaine chargée de l'innovation en matière militaire (Darpa) finance un vaste programme dédié aux exosquelettes. Elle lance un défi dont l'objectif est d'augmenter l'endurance des soldats au sol en les aidant à soulever des charges importantes et en diminuant ainsi la fatigue ressentie lors des missions.

Ce « challenge Darpa » donne naissance à trois projets majeurs : le Bleex (Berkeley Lower Extremity Exoskeleton) de l'université de Berkeley en Californie, l'exosquelette de la société Sarcos et celui du MIT Media Lab, à Cambridge, aux États-Unis. Trois projets qui démontrent que les exosquelettes sont réalisables. Ils embarquent les dernières technologies et deviennent autonomes, avec une source d'énergie placée sur le dos du porteur. Ils adoptent surtout des mensurations et des objectifs plus modestes, faisant sauter le principal verrou des exosquelettes : leur dimension.

D'une machine ultra-encombrante dans laquelle on installait un homme, on passe au costume robotisé, compact, léger, mobile, autonome et maniable

Faire du 15 km/h avec 100 kg sur le dos et sur tout terrain, c'est possible avec l'exosquelette Hulc, conçu pour un usage militaire. LOCKEED MARTIN

Tout en améliorant les forces et l'endurance de l'utilisateur, le Bleex ne réduit pas son agilité. UC BERBELEY

Il suffit de tendre un crayon au Power Loader pour le comprendre. À Nara, les dix ingénieurs d'Activelink travaillent dans un petit bâtiment aux allures de maison traditionnelle nippone, qui tranche avec l'amas de bijoux mécaniques et électroniques qui jonchent la salle principale. Sur leurs films promotionnels, le Power Loader attrape puis fait valser un banc du bout des doigts, puis saisit si délicatement un œuf qu'il ne rompt pas sous la pression. Je tends donc benoîtement mon stylo au puissant exosquelette, qui l'écrase aussitôt. J'ai soudain l'impression d'être face à Lennie, ce personnage du roman *Des Souris et des Hommes,* de John Steinbeck. Un idiot doté d'une grande force physique, mais incapable de la dominer.

La taille de l'engin est son principal atout comme son pire défaut. Elle lui donne sa force, mais en retour la plombe, l'entrave, limite ses performances et le rend effroyablement dangereux. C'est bien là l'enjeu des exosquelettes : trouver un compromis entre des exigences antagonistes. Car plus la machine sera puissante, plus elle utilisera des actionneurs volumineux, lourds, qui le handicaperont. Les ingénieurs d'Activelink ne le cachent pas d'ailleurs : il faudra plus de dix ans avant que le Power Loader puisse espérer quitter l'enceinte feutrée du laboratoire.

En réduisant la voilure, les trois projets du challenge Darpa suggèrent une autre voie et donnent des idées aux laboratoires à travers le monde. Dans leur sillage, quantité de déclinaisons, axées sur des tâches spécifiques, sont lancées et la plupart sont de nos jours opérationnelles. La métamorphose est radicale. D'une machine ultra-encombrante dans laquelle on installait un homme, on passe au costume robotisé, compact, léger, mobile, autonome, maniable, bref sans comparaison avec son ancêtre. Entre puissance et dynamisme, chaque exosquelette trouve le meilleur équilibre pour remplir la tâche qui lui est allouée.

Une aide pour les cueilleurs de fruits et les ouvriers

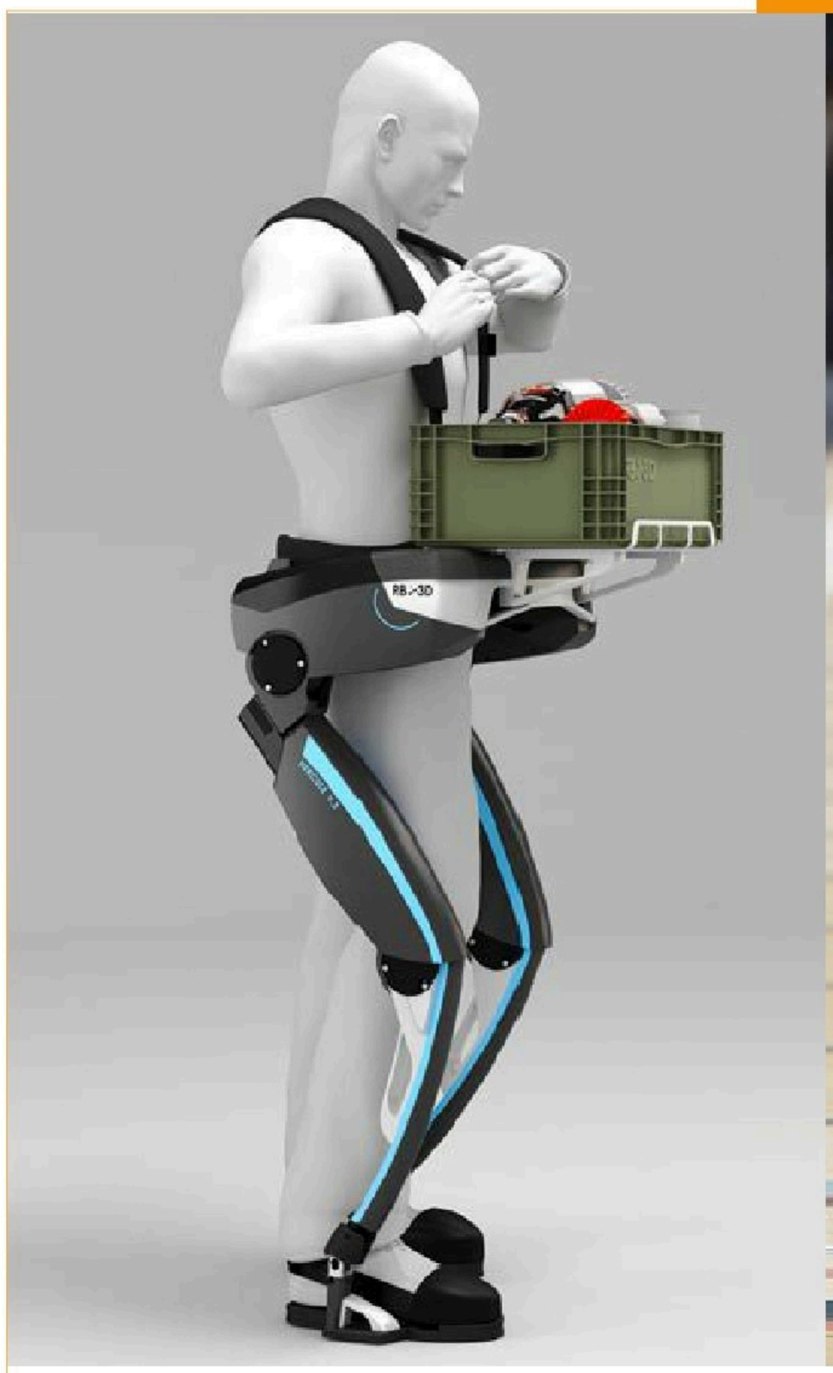
Au Japon, des exosquelettes réduits à leur plus simple expression, embarquant très peu de robotique voire totalement passifs, arrivent sur le marché pour venir en aide aux agriculteurs. Développés par Activelink, l'université d'agriculture et de technologie de Tokyo ou l'université de Wakayama, près d'Osaka, ces « costumes » permettent de soutenir les bras des cueilleurs de fruits, de porter les caisses des ouvriers agricoles…

Pour les autres exosquelettes, leur contrôle n'est toujours pas au point. Afin de commander la machine, celle-ci doit d'abord détecter et décoder les intentions de l'opérateur, voire les anticiper pour pouvoir l'assister, le guider, amplifier un geste ou un effort. D'un exosquelette à l'autre, la méthode adoptée est très différente et beaucoup sont encore trop lents et commettent de nombreuses erreurs. Mais citons quelques exemples pour mieux comprendre.

Le ReWalk (« remarcher ») a été conçu par un scientifique israélien paraplégique, Amit Goffer, de la société Argo Medical Technologies. Alternative au fauteuil roulant, il aide les personnes paralysées à se déplacer à nouveau debout : la marche est préprogrammée et l'exosquelette réalise les séquences de pas. L'équilibre de l'opérateur est assuré par des cannes. En Europe,

L'IMPRESSION 3D LIVRE DU SUR-MESURE

Pas facile de construire un exosquelette qui pourrait s'ajuster à tous les utilisateurs. Une armature efficace qui ne causerait pas d'ecchymoses ou de troubles de la circulation sanguine. L'impression 3D pourrait y remédier en permettant de faire du sur-mesure, à moindre coût. C'est ce qui vient d'arriver à Amanda Boxtel aux États-Unis, paralysée depuis vingt-deux ans à la suite d'un accident de ski. Les différentes parties de son corps ont été mesurées et numérisées pour permettre aux entreprises 3D Systems et Eksa Bionics de produire une armature parfaitement adaptée. Ainsi, à Budapest, en février, grâce à son exosquelette personnalisé, Amanda Boxtel s'est enfin levée de sa chaise roulante et s'est remise à marcher.



De gauche à droite, Hercule, ReWalk et Hal sont destinés à assister l'utilisateur, non à le transformer en surhomme.
RB3D/COURTESY OF ARGO MEDICAL TECHNOLOGIES/CYBERDYNE

DES CYBERATHLÈTES DÈS 2016

Le premier Cybathlon, un championnat pour les athlètes paralysés aidés par des robots, se tiendra en 2016 à Zurich en Suisse. Il comprendra six épreuves : une course virtuelle contrôlée par le cerveau, une course à vélo où les muscles seront assistés par des machines, une course à pied avec des prothèses mécaniques, une course de fauteuils roulants mécanisés, une course faisant appel à des prothèses aux bras, et... une course à pied assistée par un exosquelette !

aux États-Unis et en Israël, le ReWalk est déjà utilisé dans des hôpitaux dédiés à la rééducation.

HAL (Hybrid Assistive Limb), du Japonais Cyberdine, est, lui, destiné à assister les personnes âgées. L'exosquelette robotisé ne marche pas à la place de l'opérateur, mais se contente d'amplifier son effort. Déjà commercialisé, c'est un robot « prêt-à-porter » : il s'enfile et se fixe autour du corps avec des sangles. Une version améliorée pourrait être utilisée par les travailleurs qui démantèlent la centrale de Fukushima : l'exosquelette permettrait alors de travailler dans des zones hautement irradiées sans souffrir de l'énorme poids des équipements.

Un modèle qui s'enfile comme un pantalon

HAL utilise des « capteurs d'intentions » placés sur la peau, qui détectent les signaux nerveux émis par le cerveau de son porteur, pour se mettre en fonctionnement (lire « La machine obéit aux neurones et à l'œil », p. 48). L'exosquelette est ainsi censé se synchroniser de la manière la plus naturelle possible avec les mouvements de la personne. « *Mais, à cause de la pilosité, ces signaux sont inexploitables avec une personne sur deux,* critique Yann Perrot, de l'Institut des systèmes numériques intelligents du Commissariat à l'énergie atomique (CEA List). *Et ils induisent un retard important, ce qui rend la machine peut agréable à utiliser. On a toujours l'impression de la tirer…* »

Un défaut auquel les fabricants d'Hercule tentent de remédier. Le premier exosquelette français, conçu par le CEA List, la société RB3D et l'école d'ingénieurs ESME Sudria, a notamment été financé par la Direction générale de l'armement. Il s'agit d'une paire de jambes mécatroniques (combinaison de mécanique, électronique et informatique) qui permet de porter sans effort 40 kg avec une autonomie de cinq heures. L'armature a fait une apparition en mars au Salon Innorobio de

Lyon : dotée d'une barre frontale et non d'un système de bassin arrière, elle s'enfile comme un pantalon. Elle devrait bientôt être équipée de bras en vue d'une commercialisation vers 2016 au prix de 30 000 euros environ.

Une machine qui se contente d'accompagner les gestes

Hercule fait partie de la catégorie des exosquelettes d'assistance, qui ne cherchent pas forcément à augmenter les capacités de l'opérateur, mais seulement à l'aider à réaliser une tâche, militaire ou industrielle. « *La machine suit les mouvements de la personne qui la porte en la perturbant le moins possible,* explique Yann Perrot. *Elle compense la gravité, les frottements ; bref, elle supprime la pénibilité de l'action.* »

Comment la machine parvient-elle à se faire oublier en se contentant d'accompagner les gestes ? « *Les capteurs, qui servent à décoder les intentions motrices de l'opérateur, introduisent un certain retard, empêchent la machine d'avoir des gestes fluides,* détaille Yann Perrot. *Notre approche avec Hercule, c'est de mettre en place une mécanique qui suit les mouvements sans capteurs. Autrement dit, le moteur nous sert en même temps de capteur et d'actionneur.* »

Si ces différents projets plus pragmatiques semblent être l'avenir des exosquelettes, cela n'empêche pas certains roboticiens de toujours être en quête du surhomme originel. Katsuya Kanaoka, de l'université Ritsumeikan à Kyoto, en fait partie. Lors d'une conférence sur la robotique qui se tenait en février à Tokyo, il a présenté devant un parterre de collègues internationaux ses travaux sur un clone de Goldorak, non sans faire sourire l'assistance.

30 000

EUROS C'est le prix estimatif d'Hercule, le premier exosquelette français présenté en mars au Salon Innorobio de Lyon et qui pourrait être commercialisé en 2016

« *Ce projet est à des années-lumière d'une machine qui fonctionne !* s'amusait Yann Perrot. *La relation des Japonais avec les robots de forme humaine est très particulière. J'aimerais bien savoir par exemple à quoi va leur servir le Power Loader.* »

La vidéo que Motoki Nakano a ensuite présentée à l'assemblée montrait bien la force de l'engin mais n'aidait guère à trouver une réponse à cette question. Le Power Loader tenait à bout de pinces une balançoire avec une personne assise dessus ! Une fois dans les locaux d'Activelink, je pose alors la question aux ingénieurs, qui bafouillent en chœur. « *Il servira aux forces de défense… mais pas pour l'attaque ! Et dans le domaine des bâtiments…* » Finalement, un croquis semble parler à leur place. Les roboticiens ont fait appel à un dessinateur de manga pour vanter leurs produits : l'affiche publicitaire exhibe une soubrette avec des superpouvoirs qui s'envole dans les airs grâce à un Power Loader version light. Pas de doute, le rêve est toujours là.

UN EXPLOIT POUR LA COUPE DU MONDE DE FOOT

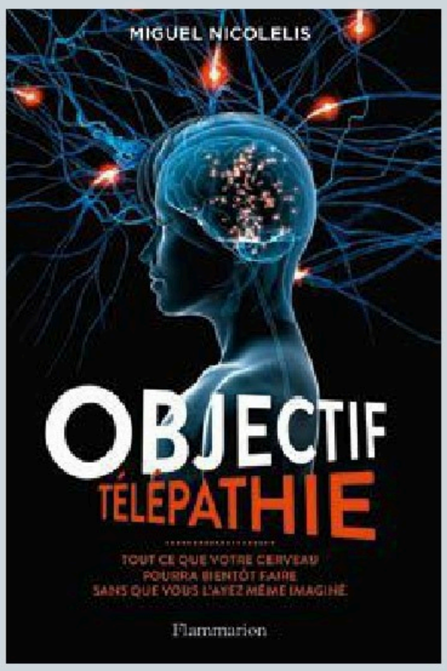
Un exosquelette ouvrira la prochaine Coupe du monde de football qui se tiendra au Brésil du 12 juin au 13 juillet. Pour la première fois, le coup d'envoi sera donné par un adolescent paraplégique revêtu d'un « costume » robotique qui enveloppera ses jambes et sera contrôlé par la pensée. Si tout se passe bien, le jeune Brésilien devrait marcher sur le terrain, faire basculer son pied vers l'arrière puis shooter. Cela fait des mois qu'il s'entraîne dans ce but avec un simulateur de réalité virtuelle.

L'équipement du jeune homme se composera d'attelles métalliques motorisées testées au préalable sur des singes, d'un ordinateur et d'un casque. Les signaux cérébraux seront détectés grâce à des électrodes placées sur le cuir chevelu et transmis sans fil au petit ordinateur placé dans un sac à dos, qui les traduira en commandes motrices. « *Lorsqu'il sera correctement placé, le tireur devra penser à son pied tapant le ballon. Trois cents millisecondes plus tard, des signaux cérébraux donneront au pied robotique de l'exosquelette l'ordre de frapper la sphère de cuir* », détaille Miguel Nicolelis, neuroscientifique de l'université Duke, aux États-Unis.

Miguel Nicolelis est à l'initiative de ce projet ambitieux baptisé « Walk again » et réunissant plusieurs équipes scientifiques à travers le monde. Le pionnier n'en est pas à son premier coup d'éclat. En 2000, il a publié une étude sur un singe commandant un bras robotique en utilisant uniquement son activité cérébrale. Et en 2011, il a montré qu'un singe peut faire bouger un avatar informatique par la pensée. S'il investit désormais le terrain de foot, devant des millions de spectateurs, c'est pour mieux marquer les esprits et convaincre que les fauteuils roulants pourraient bientôt devenir obsolètes. NICOLELIS LAB, DUKE UNIVERSITY

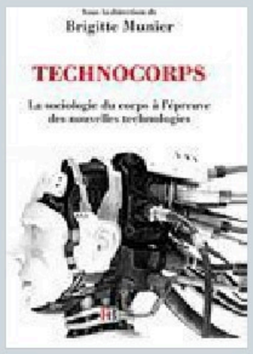
PILOTER LA MACHINE PAR LA PENSÉE

LIVRES



OBJECTIF TÉLÉPATHIE
Miguel Nicolelis
Flammarion, 2013, 373 p., 24 €
Miguel Nicolelis a été l'un des premiers à parvenir à capter les intentions dans le cerveau (du rat) pour les convertir en commande pour un ordinateur. Ce pionnier des interfaces cerveau-machine nous raconte son cheminement scientifique et entre en détail dans les technologies mises en œuvre. Accessible et passionnant.

TECHNOCORPS
Brigitte Munier (dir.)
Éditions François Bourin, 2013, 180 p., 14 €.



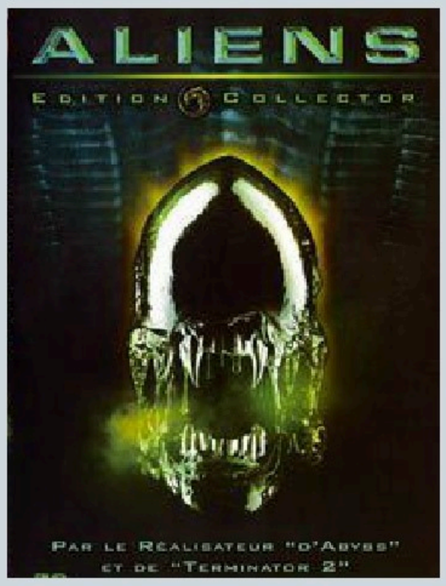
« *Pour la première fois de son histoire, l'humanité peut choisir de se modifier* […] *par des actes délibérés* », lit-on dans cet ouvrage. Celui-ci regroupe les réflexions d'anthropologues, de philosophes et de sociologues sur les innovations technologiques qui transforment le corps : quel est leur sens et que nous racontent-elles de l'humanité ?

UNE PUCE DANS LA TÊTE
Dorian Neerdael
Fyp Édition, 2014, 224 p., 16,5 €

L'auteur, philosophe et spécialiste des interfaces cerveau-machine, passe en revue les expériences qui ont conduit au développement de ce nouveau langage avec l'ordinateur. Il s'interroge sur l'avenir de ces technologies et le sérieux des recherches menées.

DVD

IRON MAN
Film d'action américain (2008), réalisé par Jon Favreau
Avec Robert Downey Jr
Créé par Stan Lee en 1963, Iron Man est adapté au cinéma en 2008 dans un déluge d'effets spéciaux. Et il faut au moins cela pour dévoiler la palette des fonctionnalités de l'exosquelette « rouge carrosserie » du super-héros : forces décuplées, lance-missiles, vol à grande vitesse, etc.



ALIENS, LE RETOUR
Film de science-fiction américain (1986) réalisé par James Cameron
Avec Sigourney Weaver
Le lieutenant Ripley part en mission avec un groupe de Marines pour retrouver les survivants d'une colonie qui a eu la mauvaise idée de s'établir sur une planète peuplée d'aliens. Le deuxième opus de la saga, plus rebondissant mais moins mystérieux que le premier, met en scène un exosquelette qui inspirera les travaux de l'industriel japonais Panasonic.

SITES

www.nicolelislab.net
Le site de Miguel Nicolelis, de l'université Duke, aux États-Unis, regroupe les publications de cette équipe en pointe dans les interfaces cerveau-machine, des vidéos et des articles de presse (en anglais)

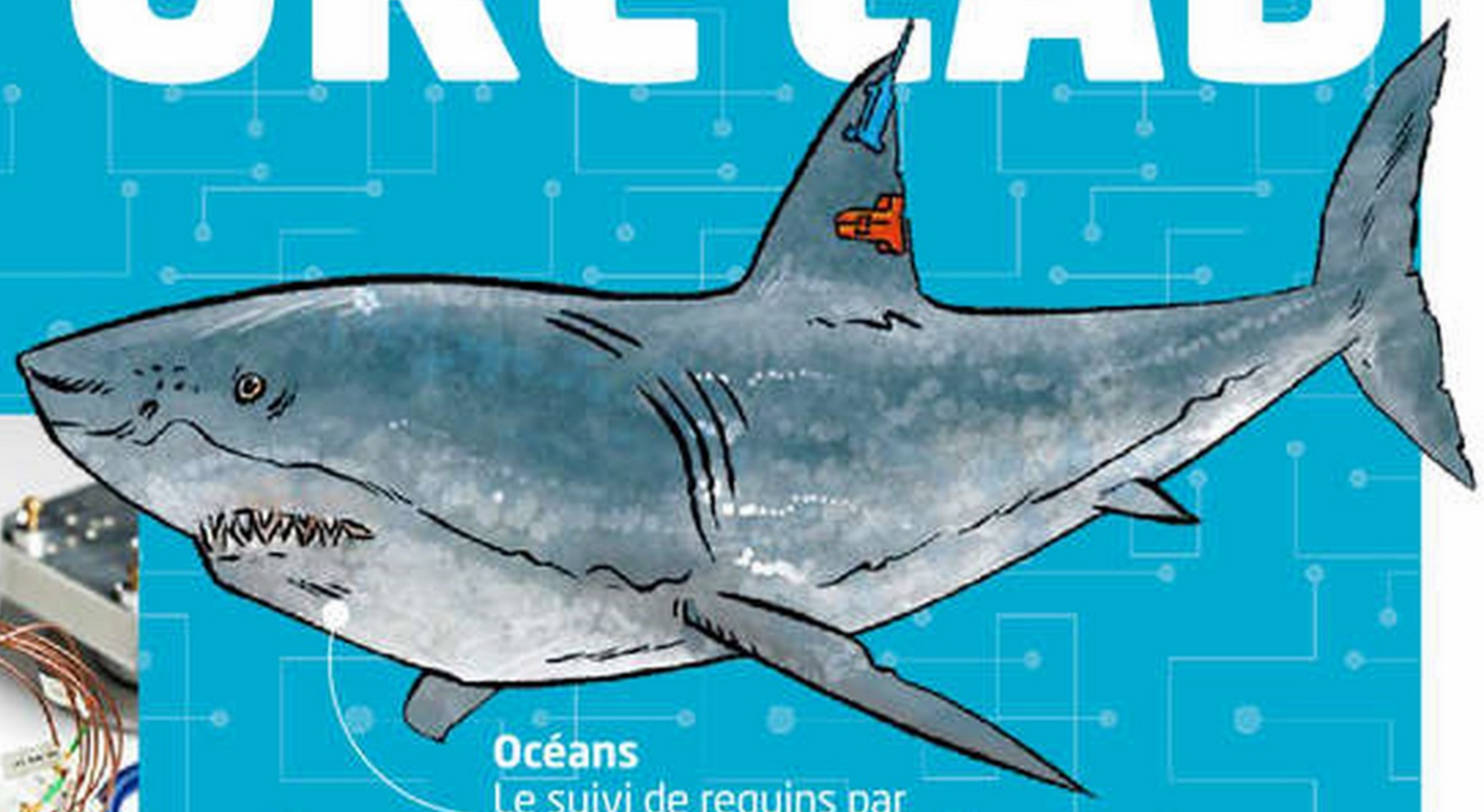
http://bit.ly/1olH10F
Une démonstration de l'exosquelette Power Loader de Panasonic, inspiré du film *Aliens, le retour*

www.darpa.mil/NewsEvents/Releases.aspx
Le site du Darpa, l'agence américaine chargée de l'innovation en matière militaire, présente les innovations technologiques mises au point pour l'armée américaine, exosquelettes en tête (en anglais)

http://openvibe.inria.fr
Découvrez le logiciel OpenVibe conçu par l'Inria, son fonctionnement et ses applications (en anglais)

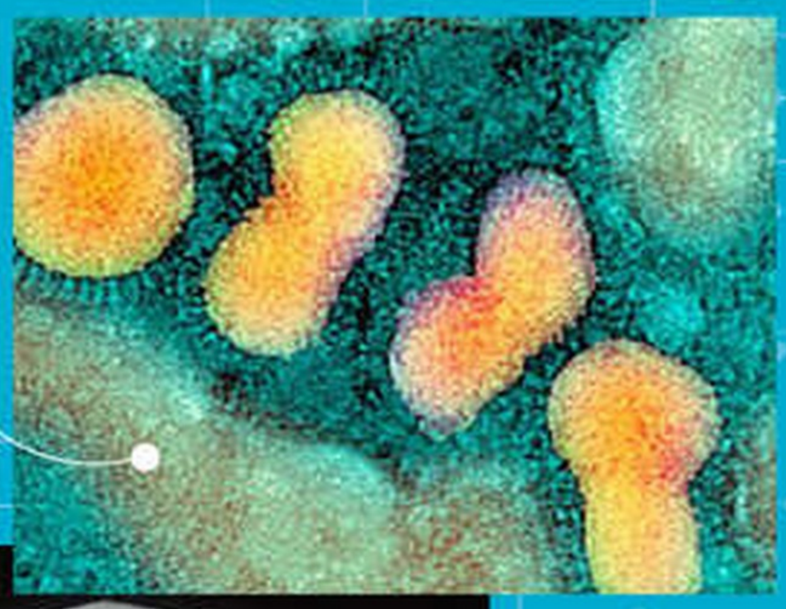
CULTURE LAB

Back to Basics
Les incroyables promesses de l'ordinateur quantique
> P. 68



Océans
Le suivi de requins par satellite, coup de pub ou projet scientifique ?
> P. 82

Biotech
De Frankenstein aux virus modifiés, les enjeux de la biologie de synthèse
> P. 90



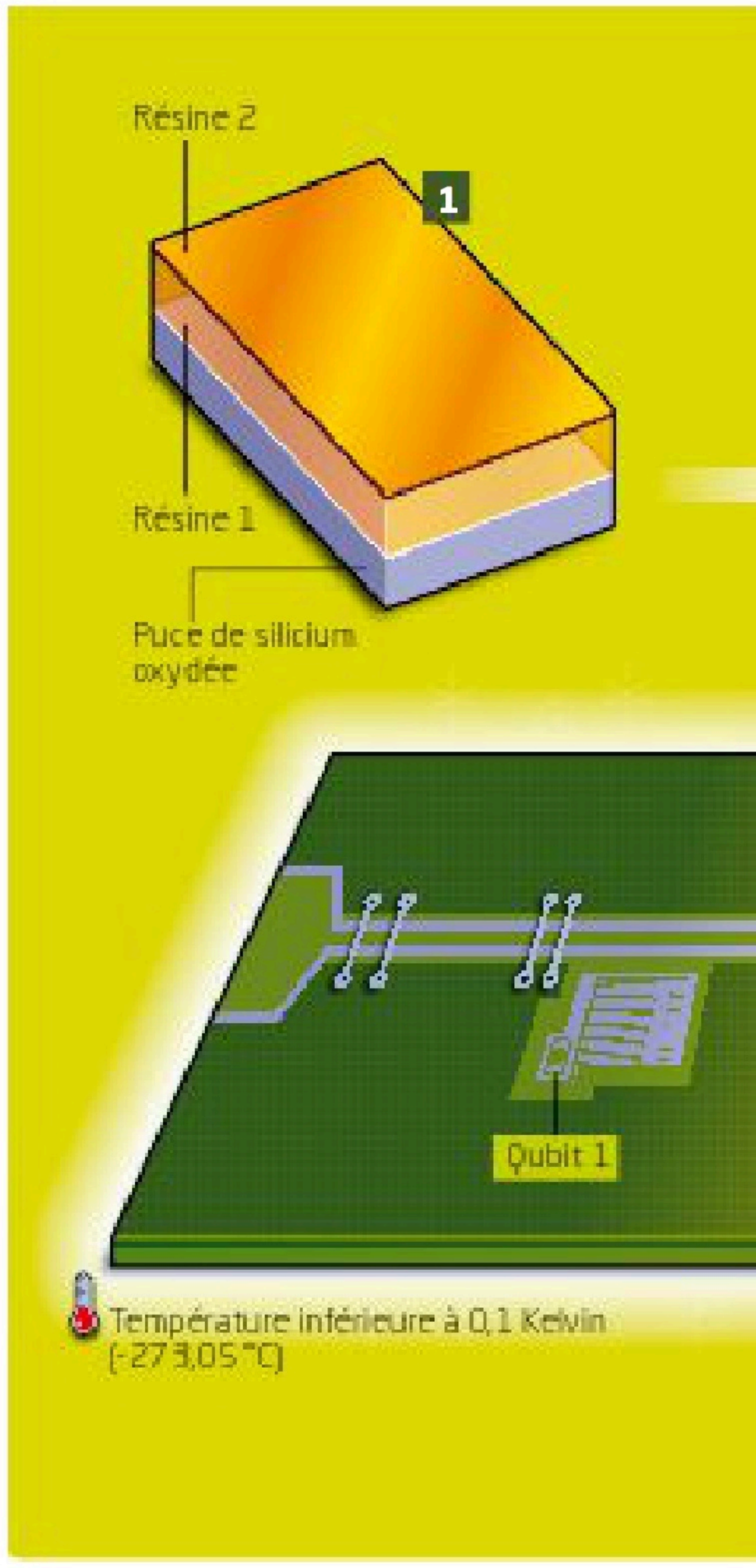
Top 5
Ces milliardaires qui financent la recherche
> P. 77

Expos, livres, cinéma...
Suivez le guide !
> P. 94

COURTESY OF D-WAVE SYSTEMS INC., JEAN-PAUL AUSSEL, BEATRICE DE GEA/THE NEW YORK TIMES-REDUX/REA, NIBSC/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS, ARNAUD ROBIN

L'ORDINATEUR QUANTIQUE

PAR **Gautier Cariou** INFOGRAPHIE **Sandrine Fellay**



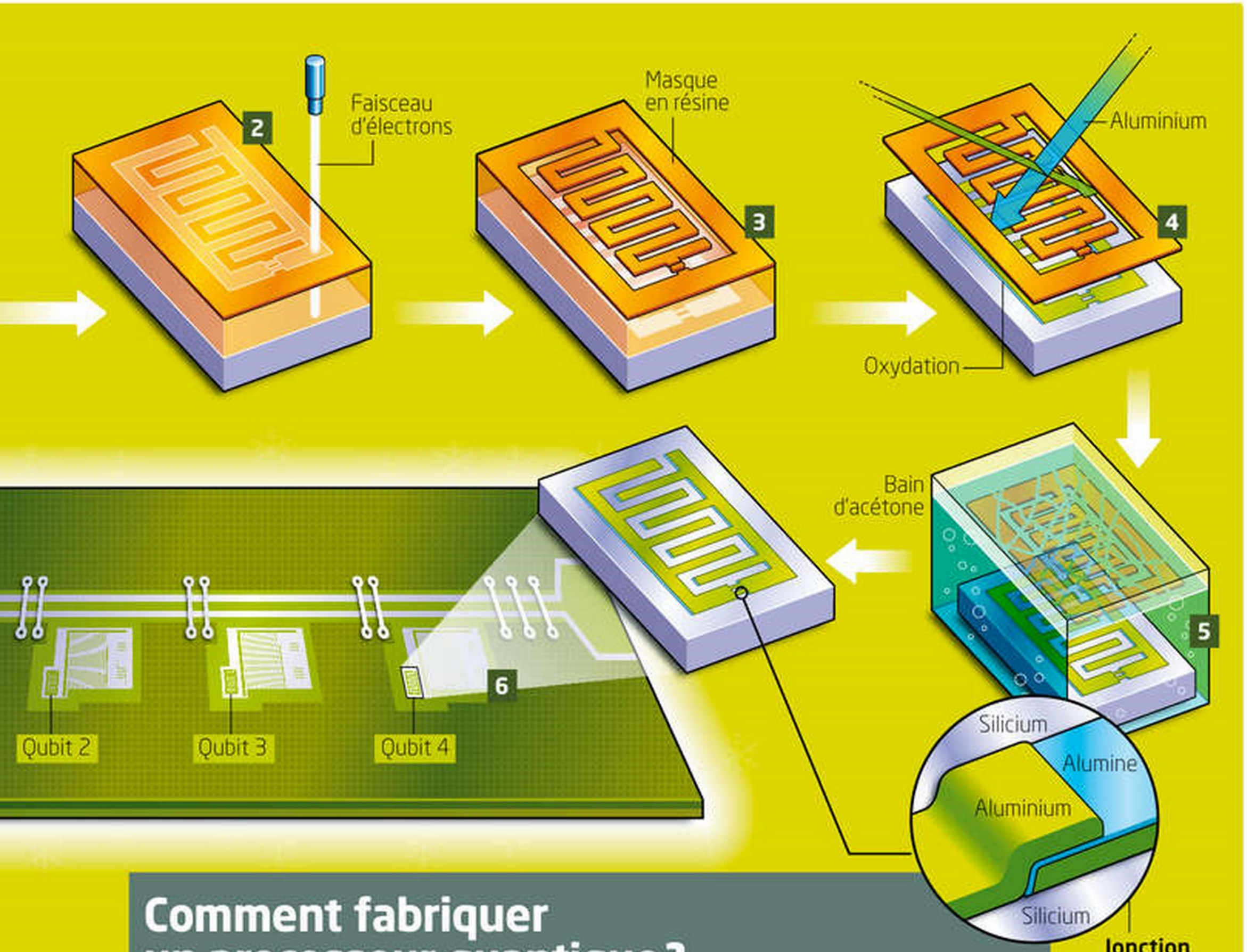
Qu'est-ce que c'est?

C'est un ordinateur qui utilise les propriétés quantiques de la matière. Avec un processeur de 300 «bits quantiques» (ou qubits), un ordinateur quantique pourrait manipuler simultanément 2^{300} données, soit davantage que la masse de données générée depuis le début de l'humanité. Dans un ordinateur classique, l'information élémentaire, le bit, n'a que deux valeurs: 0 ou 1, selon la présence ou non de courant électrique. Or, dans un ordinateur quantique, l'information repose sur l'état d'un système physique (atome, ion, photon, circuit supraconducteur…), régi par la mécanique quantique, une théorie physique qui décrit les phénomènes à l'œuvre à l'échelle des atomes. Un qubit peut alors se retrouver dans l'état 0 ou 1, ou… dans les deux à la fois. Ces états dits «superposés» n'existent en général qu'à l'échelle de l'infiniment petit où les particules ont le don d'ubiquité. De plus, lorsque deux qubits interagissent entre eux, leurs états physiques «s'enchevêtrent», si bien que les deux systèmes ne peuvent plus être décrits de façon indépendante: on parle d'états intriqués.

Grâce à ces phénomènes, l'ordinateur quantique a accès à la totalité des résultats possibles d'un calcul en une seule étape quand un ordinateur classique doit traiter l'information un résultat après l'autre.

DR

« Avec un ordinateur quantique suffisamment puissant, on pourrait **venir à bout de la plupart des méthodes actuelles de sécurité informatique.** On pourrait également résoudre des problèmes mathématiques et modéliser des systèmes physiques complexes, actuellement inaccessibles pour nos ordinateurs classiques. »
PHILIPPE GRANGIER, directeur de recherche au laboratoire Charles-Fabry, à Palaiseau



Comment fabriquer un processeur quantique ?

1. Déposer une bicouche de résines sensibles aux électrons sur une puce de silicium oxydé.

2. Envoyer un faisceau d'électrons sur la résine que l'on veut altérer pour dessiner le circuit avec un microscope électronique à balayage piloté par ordinateur.

3. Pour faire apparaître un masque pochoir ayant la forme du circuit dans la résine supérieure, plonger la puce dans un bain de cétone pendant 45 secondes pour éliminer la résine altérée. Supporté par la couche de résine inférieure, ce masque se retrouve suspendu au-dessus de la puce.

4. Évaporer successivement de l'aluminium sur la puce selon deux angles différents, dans une enceinte sous vide, avec oxydation intermédiaire de la première couche. L'aluminium se dépose à travers les fentes du masque.

5. Plonger la puce dans un bain d'acétone pour éliminer le reste de résine. Le circuit en aluminium apparaît en relief sur la puce de silicium. Il apparaît aussi des « jonctions Josephson », constituées de deux électrodes d'aluminium séparées par une fine couche d'alumine, qui confère au circuit ses spécificités quantiques.

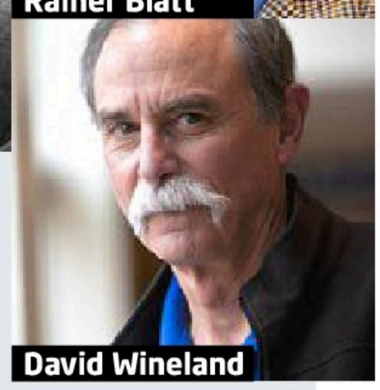
6. Placer la puce électronique dans un circuit imprimé que l'on dispose dans un réfrigérateur particulier à une température inférieure à 0,1 K. Chaque qubit développe alors un comportement quantique analogue à celui d'un atome lorsqu'on lui envoie des signaux électriques micro-ondes.

JOE MUNROE/HULTON ARCHIVE/GETTY

DAVID DEUTSCH

PETER BADGE/TYPOS1

INNSBRUCK UNIVERSITY



DANA ROMANOFF/GETTY/AFP

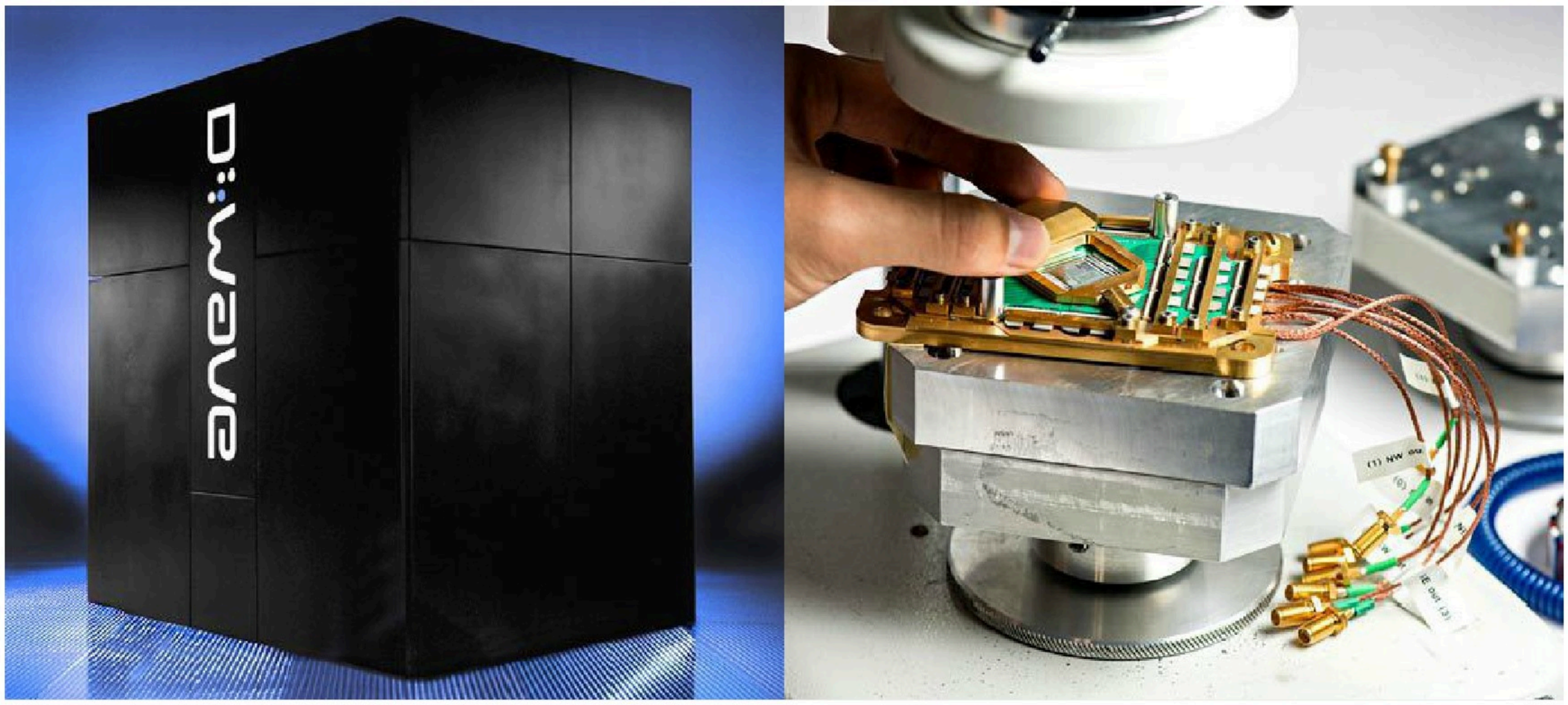
Qui l'a inventé ?

RICHARD FEYNMAN, prix Nobel de physique en 1965, est sans aucun doute le père fondateur de l'informatique quantique. Dans les années 1950, l'Américain imagine un modèle de système quantique capable de réaliser des calculs… quantiques. Ses travaux sont repris par **David Deutsch**. Le physicien britannique montre qu'un tel système pourrait mener à un ordinateur quantique utilisant le principe de superposition des états pour traiter l'information, idéal pour modéliser des processus physiques jusqu'ici hors de la portée d'un ordinateur classique. En 1992, il invente le premier algorithme quantique, sans réel intérêt pratique, mais qui inspirera d'autres scientifiques. Ainsi, en 1998, le mathématicien **Peter Shor**, du MIT, présente l'algorithme éponyme, le plus célèbre de l'histoire de l'informatique quantique. En théorie, ce programme peut cracker la plupart des systèmes de sécurité informatique, un enjeu géostratégique majeur. Les expérimentateurs essaient donc de fabriquer un tel ordinateur à partir de ses «briques de base», les qubits. En 2003, **Rainer Blatt**, de l'université d'Innsbruck, et **David Wineland**, colauréat du prix Nobel de physique en 2012 avec Serge Haroche, réalisent un prototype: une «porte logique» à deux qubits, en utilisant des ions et des atomes. Un grand pas dans la quête d'un calculateur quantique.

Qu'en fait-on aujourd'hui ?

On résout des problèmes de mathématiques et de physique fondamentale. En 2012, un calculateur quantique parvient pour la première fois à décomposer 21 en un facteur de nombre premier (3x7). Cet exercice, a priori simple, est en réalité une démonstration de principe de l'algorithme de Shor, dont la puissance devrait se révéler pour des chiffres beaucoup plus grands. Les physiciens simulent également des systèmes physiques complexes à l'aide de systèmes quantiques analogues simples. Ainsi, ils peuvent transposer les résultats de leurs simulations aux systèmes réels. Avec cette méthode, des physiciens ont simulé l'équation de Dirac à laquelle obéit un électron qui se déplace à une vitesse proche de celle de la lumière. De la même façon, une équipe française a pu modéliser pour la première fois les mécanismes thermodynamiques non linéaires à l'œuvre dans certaines étoiles.

On minimise les erreurs. Le potentiel de l'ordinateur quantique repose sur ses propriétés… quantiques ! Or, pour augmenter ses capacités de calcul, il faut manipuler davantage de qubits, ce qui augmente les chances que ces derniers interagissent avec l'extérieur. L'ordinateur perd alors sa nature quantique. En pratique, ce phénomène nommé décohérence constitue l'obstacle principal dans la construction d'ordinateurs de ce type. Les physiciens



Commercialisée par la société canadienne D-Wave, cette grosse armoire noire se présente comme un ordinateur quantique muni d'un processeur de 512 qubits (à droite). Néanmoins, elle est conçue selon une approche du calcul quantique très différente des autres projets.
COURTESY OF D-WAVE SYSTEMS INC

cherchent donc à pallier cet effet néfaste en développant des codes correcteurs mettant en jeu un groupe de qubits « physiques » corrélés entre eux, qui représentent collectivement un qubit « logique » destiné, quant à lui, au calcul quantique. Seul l'état global de ce groupe de contrôle est pris en compte dans le calcul, ce qui permet de minimiser l'erreur liée à la décohérence. En 2011, cette technique est mise en pratique avec trois qubits de contrôle, mais il en faudrait sept pour la rendre utilisable dans un calcul.

On augmente la capacité des processeurs en générant davantage de qubits tout en minimisant la décohérence. Le record officiel date de 2011, avec 14 qubits. En 2014, les concepteurs du supercalculateur canadien D-Wave 2 affirment en avoir généré plus d'une centaine. Mais la communauté des physiciens reste sceptique vis-à-vis de la nature quantique de cette machine.

Quel impact pour demain ?

On pourrait remettre en cause la sécurité informatique. La cryptographie actuelle, qui protège les cartes bleues et assure la sécurité des données informatiques, repose sur le chiffrement RSA. Son principe : un grand nombre est généré automatiquement en multipliant deux grands nombres premiers. Ce nombre constitue une clé de chiffrement, et le « secret » est la valeur des nombres qui ont été multipliés. En principe, il suffit donc de décomposer la clé en facteurs premiers pour cracker la plupart des systèmes de cryptographie. Pour un ordinateur classique, cette factorisation prendrait… plusieurs milliers d'années ! Mais pour un calculateur quantique utilisant l'algorithme de Shor, c'est un jeu d'enfant. Tout se fait… en une seule étape !

Il serait possible de trier des données informatiques massives. Un ordinateur quantique pourrait utiliser l'algorithme de Grover, une série d'instructions qui permet de faire le tri dans des bases de données massives beaucoup plus rapidement qu'avec un ordinateur classique. Appliqué au bonneteau, ce jeu de rue qui consiste à retrouver une boule cachée sous un gobelet, cet algorithme permettrait de localiser la boule en un seul coup parmi de nombreux gobelets.

Il pourrait résoudre des problèmes mathématiques. De nombreux problèmes mathématiques peuvent être traités par des méthodes quantiques. Par exemple, avec l'algorithme de boson sampling, un ordinateur quantique pourrait facilement calculer le « permanent » d'une matrice, un exercice extrêmement complexe. ✳

À lire, sur le même sujet, « Ordinateur quantique : les physiciens testent les premières machines », dans La Recherche *n° 485 ou sur larecherche.fr*

Dragonfly, le gratte-ciel en forme d'aile de libellule, pourrait abriter des logements et des bureaux, mais aussi des cultures et de l'élevage. En plein cœur de New York. VINCENT CALLEBAUT ARCHITECTURES

Légumes avec vue

Salades à tous les étages. C'est déjà une réalité dans les fermes verticales qui poussent dans les villes. C'est aussi un rêve, celui de pouvoir ainsi nourrir une population toujours plus nombreuse.

PAR
Rafaële Brillaud

Les travaux agricoles ne sont plus réservés au plancher des vaches. Car voici venu le temps des « fermes verticales », des cultures superposées les unes sur les autres, poussant sans terre et parfois même sans soleil. Ces usines végétales d'un nouveau genre sont impossibles à comptabiliser tant elles sont nombreuses (plus d'une centaine rien qu'au Japon) et variées, en taille comme en mode de fonctionnement. À ce jour, les plus grandes se trouvent aux États-Unis : FarmedHere depuis 2013 à Bedford Park, à la périphérie de Chicago, et Green Spirit Farms depuis mars dernier à Scranton en Pennsylvanie, à l'ouest de New York. Celle-ci a pour ambition d'abriter, sur à peine plus de 3 hectares, soit 4 terrains de foot, 17 millions de plants répartis sur 6 étages : laitues, épinards, choux, tomates, poivrons, basilic, fraises… L'établissement est dix fois plus grand que le tout premier ouvert par la société en 2011 à New Buffalo, dans le Michigan. Et ce n'est qu'un début.

Dans les grandes villes de la planète, une révolution verte est en train de s'emparer des entrepôts urbains et bâtiments abandonnés, de nourrir des projets de tours futuristes, avec la promesse d'un plus grand respect de l'environnement. À l'origine, le constat est simple : d'ici à 2050, la planète devrait gagner au moins 3 milliards d'habitants, concentrés majoritairement dans des zones urbaines. Comment subvenir aux besoins d'une population toujours croissante, quand déjà 80 % des surfaces arables de la planète sont exploitées et 15 % de ces sols ont été épuisés par l'agriculture intensive, la pollution, la désertification ? De toute évidence, l'agriculture de demain ne pourra répondre à une telle demande alimentaire. Le défi oblige donc à innover, à envisager les choses sous un tout autre angle. Et si la ferme de demain intégrait la cité en prenant de la hauteur ? Autrement dit, et si nous produisions au cœur de la ville dans des structures ayant une emprise au sol la plus réduite possible ?

Rapprocher la production de la consommation

Les fermes urbaines ne sont pas une sophistication née d'un esprit bobo. Elles s'inspirent notamment des Victory Gardens. Ces « jardins de la victoire » initiés par les autorités américaines pendant la Seconde Guerre mondiale ont contribué à l'alimentation de millions de citadins. En Amérique ou en Europe, ce « front intérieur » consistait à participer à l'effort de guerre en récupérant des friches, dans les résidences privées ou les parcs publics, pour les cultiver et combattre la famine.

Dans la même veine, les potagers sur les toits – ou « sky-farming » en anglais – prolifèrent aujourd'hui en Asie en réaction à la flambée des prix des denrées

80 %

DES SURFACES ARABLES de la planète sont exploitées et 15 % de ces sols ont été épuisés par l'agriculture intensive, la pollution, la désertification.

alimentaires. D'ailleurs, selon l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'agriculture urbaine est déjà pratiquée par 800 millions de personnes sur la planète. Elle serait l'une des clés de la survie alimentaire de l'humanité.

Le concept de « ferme verticale », théorisé à la fin du siècle dernier, est un peu le pendant industriel de toutes ces initiatives. Dickson Despommier, professeur de santé publique et environnementale à l'université Columbia de New York, l'a développé en 1999 avec ses étudiants. « *Au départ, il s'agissait simplement d'un concept théorique destiné à examiner la faisabilité d'une agriculture durable dans les villes,* précise l'écologiste et microbiologiste. *L'idée est apparue lors d'un projet de classe qui consistait à mesurer l'impact des jardins sur les toits sur le microclimat de New York.* »

Les fermes verticales répondent au principe des 3R : réduire, réutiliser, recycler

Au fil des réflexions, la culture des fruits et légumes a quitté la campagne pour se rapprocher des consommateurs, au sein des mégalopoles. Elle a trouvé refuge dans des constructions qui, pour gagner de l'espace, ont pris de la hauteur. Bref, l'agriculture devient urbaine, intérieure et à étages. La « ferme verticale » prend forme. Dickson Despommier affirme même qu'avec les technologies de l'époque une tour de 30 étages suffirait à nourrir 50 000 personnes. L'argument fait mouche, l'idée séduit et les projets se multiplient.

Il faut dire que, sur le papier, les fermes verticales cumulent les avantages. Le système se fonde sur la technique déjà éprouvée de la culture hors-sol, le plus souvent en hydroponie : les racines des végétaux sont immergées dans une solution à base d'eau et de nutriments. Pas besoin de terre, cette denrée qui se fait rare. Et la consommation d'eau peut être fortement diminuée, en gérant au mieux les apports nécessaires aux végétaux. Produire plus en dépensant moins, comment ne pas approuver une telle équation ?

Près de Chicago, FarmedHere occupe un entrepôt de 8 400 mètres carrés. Salades et herbes fraîches y poussent sur des étagères. Sans terre, sans soleil et sans pesticides. COURTESY OF FARMEDHERE, LLC

Se libérer de la pluie et du beau temps

Ces fermes fonctionnent en outre en vase clos, dans des bâtiments hermétiques qui les isolent de l'environnement extérieur. Elles ne dépendent donc plus des sécheresses, de la grêle ou des mauvais coups du vent ; elles ne sont pas menacées par le réchauffement climatique. Elles se libèrent des contraintes saisonnières de température, d'ensoleillement, de pluviométrie. Mieux, la maîtrise de tous ces paramètres de manière artificielle offre la possibilité de multiplier les récoltes annuelles, jusqu'à quatre par an !

Enfin, selon leurs partisans, les fermes verticales pourraient

AU MENU, DES SALADES CULTIVÉES PRÈS DE FUKUSHIMA

L'usine Kimidori (vert clair en japonais), située à Kawauchi, à une vingtaine de kilomètres de la centrale nucléaire de Fukushima, abrite des légumes servis dans de grandes chaînes de restaurants japonais. Lancée en avril 2013, cette ferme est la première construite en zone contaminée.

Laitues et autres végétaux ne présentent aucun risque pour la santé. Et pour cause. Ils poussent dans une atmosphère confinée, dans des salles sans fenêtres, sur des étagères éclairées par des diodes électroluminescentes.

L'eau qui alimente les cultures est puisée à une profondeur telle que la radioactivité ne l'a pas touchée.

Les employés pénètrent dans l'usine munis d'une combinaison et d'un masque et après être passés dans un sas permettant de se nettoyer des poussières extérieures. YASUSHI KANNO/AP/SIPA

permettre d'éradiquer certaines maladies et d'éliminer toute pollution des aliments. Plus de pollution phytosanitaire puisque l'utilisation de pesticides n'a aucune utilité sur ces végétaux confinés : les récoltes sont épargnées par les parasites, soigneusement maintenus à l'extérieur des bâtiments. Plus de pollution radioactive non plus : à Kawauchi, dans la préfecture de Fukushima au Japon, la mise en place d'une usine verticale à quelques kilomètres de la centrale accidentée est présentée comme la garantie d'aliments sains alors qu'ils sont produits au-dessus d'un sol contaminé (lire ci-dessus). Au final, la magie semble s'imposer. En dépit de leur volonté productiviste affichée, de leur effrayante échelle industrielle parfois et surtout de leur mécanique totalitaire où chaque paramètre autrefois laissé au bon vouloir de la nature est désormais parfaitement contrôlé, ce taylorisme agricole parvient à garder une image verte et positive. Les fermes verticales répondent au principe des 3R : réduire, réutiliser, recycler. Et elles limitent les émissions de dioxyde de carbone ou gaz à effet de serre, fléaux des temps modernes, en supprimant les transports. « *Nous embauchons localement, nous produisons localement, nous vendons localement* », serinait Jolanta Hardej, à la tête de FarmedHere, lors de l'ouverture de la ferme de Bedford Park. L'usine végétale préfigurerait ainsi une agriculture moderne et durable.

L'utopie, toutefois, est tributaire des innovations qu'elle saura susciter. « *Il ne suffit pas d'empiler les cultures pour créer une ferme verticale,* alerte Dickson Despommier. *Par exemple, lorsque les végétaux sont empilés en étagères les unes au-dessus des autres, comment amener la lumière du soleil jusqu'au centre du bâtiment ? Ce n'est pas impossible – et en réalité rien n'est impossible ! Mais il faut être créatif.* » Et les pionniers le sont, comme en témoignent les fermes existantes.

Sans lumière, c'est la fin des haricots

À Singapour, Sky Greens a placé laitues et choux chinois sous une structure transparente, dans des racks disposés en pyramides qui tournent grâce à un moteur hydraulique. Les légumes font des tours de manège et bénéficient tous de la lumière du soleil. Près de Chicago, FarmedHere met en réseau élevage de poissons et cultures végétales : des tilapias fournissent des nutriments aux plantes qui oxygènent l'eau dans laquelle ils évoluent.

Mais c'est au Japon que l'expérience atteint son paroxysme. À Kameoka près de Kyoto, Nuvege produit chaque année 7,3 millions de laitues dans un immense hangar sans fenêtre. Les Japonais ont réussi à réduire la lumière du soleil indispensable à la photo-

L'idée d'une ferme verticale a aussi germé à Paris. Le projet allie un potager pyramidal de quatre niveaux, un marché couvert, prévoit la récupération de l'eau de pluie et le recyclage des déchets. CLÉMENT BAEHR ARCHITECTE

synthèse à deux uniques spectres, un rouge et un bleu, fournis par de minuscules diodes électroluminescentes (LED).

Parfaites, les fermes verticales ? Restent deux questions sur lesquelles les responsables de ces usines végétales ne sont guère diserts. Quelle est la dépense, en matière d'énergie et de ressources, induite par ces monstres d'automatisme ? *« Sauf à recréer tous les processus physico-chimiques de l'air et du sol, il faut bien alimenter cet "écosystème" déconnecté et donc non auto-entretenu »*, soulignent les agronomes Antoine Poupart, Pierre Compère et le sociologue François Purseigle. Et qu'en est-il de la saveur des produits cultivés dans des univers aussi artificiels ? Aucune étude ne semble encore apporter de réponse.

À l'heure actuelle, les usines végétales sont encore des hangars impersonnels. Mais déjà quelques architectes planchent sur des formes plus élégantes, à la mesure de l'utopie qu'elles incarnent. Citons la Tour vivante, imaginée pour Nantes par les architectes de l'agence Soa, ou Dragonfly, dessinée par Vincent Callebaut pour New York.

Ce type de projets novateurs pourrait bien voir le jour à Paris. L'architecte Clément Baehr et le bureau d'études Greenation ont ainsi conçu une ferme verticale pour le XV^e^ arrondissement. *« Nous avons présenté cette idée à la mairie puis en réunion de quartier aux riverains »*, précise Clément Baehr. À voir si Paris veut creuser ce sillon.

Les liens

- farmedhere.com
- greenspiritfarms.com
- verticalfarm.com
- skygreens.appsfly.com
- nuvege.com
- soa-architectes.fr
- vincent.callebaut.org
- baehr-architectes.fr

UN POTAGER DANS MON SALON

Faire pousser des légumes à côté du canapé, c'est l'idée du géant de l'électronique et de l'électroménager Philips, qui a conçu une miniferme verticale, sorte de meuble à étages permettant de cultiver à domicile. La Biosphere Home Farm minimise en effet l'espace au sol en empilant les mini-écosystèmes.

Sur cinq niveaux se côtoient ainsi poissons et crustacés dans leur aquarium, algues pour filtrer l'eau de ce dernier et plantes comestibles qui sont ainsi arrosées. Tout en bas, un espace accueille les déchets organiques de cuisine (épluchures de légumes, etc.) et un système permet de récupérer le méthane généré par la décomposition pour faire de la chaleur et alimenter l'éclairage nocturne.

La lumière du soleil est utilisée de manière optimale ; elle est restituée au travers de fibres optiques. Dotée d'un look design, la miniferme semble n'avoir qu'un seul défaut : *« C'est un prototype, aucune commercialisation n'est envisagée pour le moment »*, précise la société. PHILIPS

Les 5 mécènes de la science

Ils ont les moyens de faire avancer la recherche scientifique. Alors ils ont décidé d'y investir une partie de leur fortune parfois colossale. Retour sur le parcours de ces philanthropes dont l'investissement personnel dépasse l'apport financier.

PAR
Christophe Blanc

1 Bill et Melinda Gates au chevet du monde

C'est le couple le plus riche de la planète puisque, selon le magazine économique américain *Forbes*, en 2014 la fortune de Bill Gates s'élève à 77 milliards de dollars (environ 55 milliards d'euros), soit la première mondiale. Tant mieux, puisque l'ancien patron de Microsoft et sa femme Melinda ont décidé d'en consacrer 95% à la recherche contre les fléaux que sont la poliomyélite, le paludisme, la méningite, la tuberculose, le sida et les maladies tropicales négligées. Le budget de la Bill & Melinda Gates Foundation, qui dépasse les 40 milliards de dollars (plus de 28 milliards d'euros), provient en effet principalement de leur fortune personnelle, mais aussi de celle de l'homme d'affaires Warren Buffett, troisième fortune mondiale, et d'autres milliardaires. En 2010 en effet, les époux Gates ont lancé le Giving Pledge (la promesse de don), campagne destinée à inciter les milliardaires à céder au moins 50% de leur fortune à des œuvres caritatives.

Leurs motivations C'est à Melinda que l'on doit la reconversion de Bill à la philanthropie lorsque, en 2006, il annonce son retrait de la direction de Microsoft. C'est elle qui étend les activités de la Fondation, créée en 2000 pour distribuer des PC et des logiciels Microsoft aux bibliothèques des États-Unis. C'est elle encore qui

REUTERS

s'élève en 2012 contre l'interdiction de l'usage des préservatifs par le Vatican, et qui annonce un don de 560 millions de dollars (environ 400 millions d'euros) pour financer des programmes de contraception dans les pays les plus pauvres.

Des actions La fondation est organisée en quatre divisions : santé, développement mondial, États-Unis, politique et plaidoyers mondiaux. Celle consacrée à la santé est devenue la deuxième plus importante source de financement de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) après le gouvernement américain. L'un de ses objectifs est l'éradication de la poliomyélite, objectif presque atteint aujourd'hui grâce à des campagnes de vaccination à très grande échelle.

Une autre de ses priorités est le paludisme, encore responsable de plus de 620 000 décès (selon le rapport 2013 de l'OMS), dont trois sur quatre étaient des enfants.

Au début des années 2000, les Gates ont investi 200 millions de dollars (environ 144 millions d'euros), en plus des 300 millions du laboratoire pharmaceutique GlaxoSmithKline (GSK), dans la mise au point du vaccin RTS,S, considéré alors comme le plus prometteur des quelque 60 « candidats vaccins » en cours de développement. Mais les résultats de la dernière phase des essais cliniques, qui a concerné 15 000 enfants dans sept pays africains et s'est achevée fin 2012, sont mitigés : le RTS,S n'est efficace que dans la moitié des cas et, au plus pendant dix-huit mois. C'est bien peu en comparaison d'autres traitements connus. Pourtant, c'est la première fois qu'un vaccin contre le paludisme, et contre une maladie parasitaire, atteint ce résultat. Sous réserve d'approbation par l'OMS, le RTS,S sera commercialisé en 2015.

Des projets La fondation s'illustre également dans la lutte contre les maladies tropicales délaissées par les laboratoires faute de débouchés rentables : filariose lymphatique, schistosomiase, maladie de Chagas ou encore « ver de Guinée ». Ces maladies causent des centaines de milliers de décès chaque année. Les Gates financent plusieurs ONG et centres de recherche, dont le DNDi basé à Genève. Selon Jean-François Alesandrini, son directeur de la recherche de fonds, *« il y a dix ans, on pensait que seule l'industrie pharmaceutique pouvait développer ces médicaments. Aujourd'hui, avec des industriels, des gouvernements et des donateurs privés, dont la Fondation Gates, nous inventons des "business models" à but non lucratif. Le DNDi a ainsi mis au point l'Asaq, un traitement efficace contre le paludisme qui a déjà été distribué à plus de 300 millions de personnes. Cela n'a coûté que 12 millions d'euros, notre partenaire Sanofi ayant accepté de le faire sans brevet et à prix coûtant. Nous sommes entrés dans une nouvelle ère »*.

Aujourd'hui, Bill et Melinda multiplient les initiatives dans des domaines aussi variés que le développement agricole, l'accès à l'eau et aux sanitaires, la finance solidaire, l'éducation et la lutte contre le tabagisme. Sans relâcher leurs efforts autour de la recherche fondamentale, avec pour principaux objectifs la mise au point de vaccins contre le sida, la pneumonie et la tuberculose, ou de nouveaux traitements et outils de diagnostics à destination des enfants et des femmes enceintes.

Paul Allen cartographie le cerveau

2

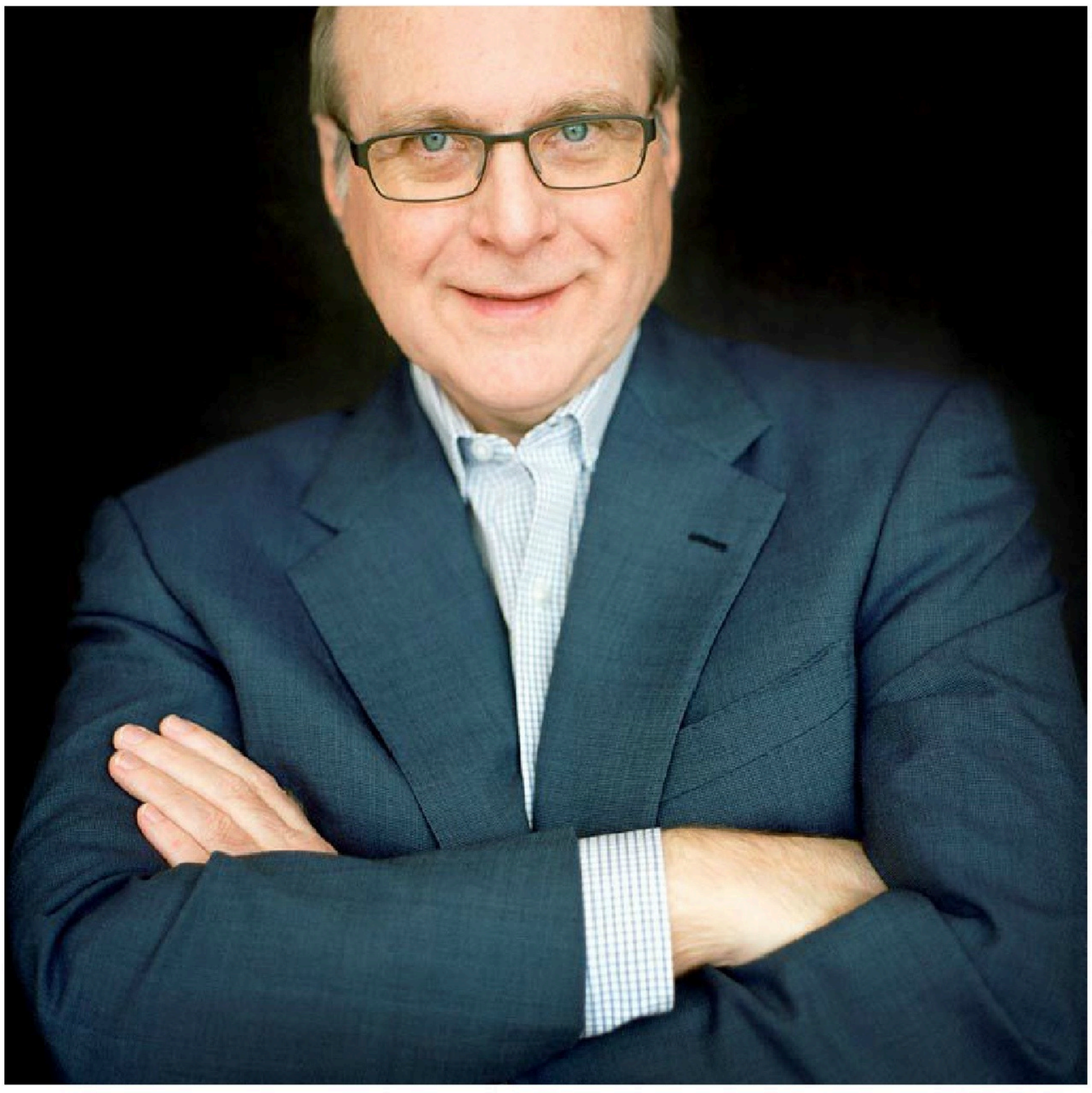
Est-il possible d'explorer le cerveau humain en trois dimensions ? Oui, à condition de télécharger le logiciel Brain Explorer 2 sur le site du Allen Brain Atlas (goo.gl/PzuZJf). Tout le monde y a accès et il est gratuit. Même si le non-spécialiste ne comprendra sans doute pas tout, le résultat est fascinant. On peut ainsi faire tourner le cerveau dans tous les sens, et activer le lobe pariétal, l'hypothalamus ou le cervelet.

Des actions Cet atlas interactif, c'est à Paul Allen que nous le devons. L'homme qui, à la fin des années 1970, a convaincu son ami Bill Gates de quitter l'université Harvard pour fonder Microsoft. Depuis 2003, il a investi plus de 500 millions de dollars (quelque 360 millions d'euros) dans le Allen Institute for Brain Science, institut qui finance des recherches sur le fonctionnement du cerveau humain. Ce logiciel est une avancée majeure pour les chercheurs du monde entier. En permettant de localiser la zone précise du cerveau dans laquelle un gène s'active, il s'est imposé comme « *une ressource indispensable pour les scientifiques qui étudient les maladies mentales, l'addiction aux drogues ou les maladies neurodégénératives comme Alzheimer* », estime la revue scientifique *Nature*.

L'institut Allen est devenu un partenaire majeur de la Brain Initiative lancée par l'administration Obama en avril 2013, dont l'objectif est de visualiser la façon dont les neurones interagissent. Un projet important et qui fait écho au Human Brain Project de la Commission européenne, lequel vise à reproduire sur ordinateur le fonctionnement de cet organe d'une complexité inouïe.

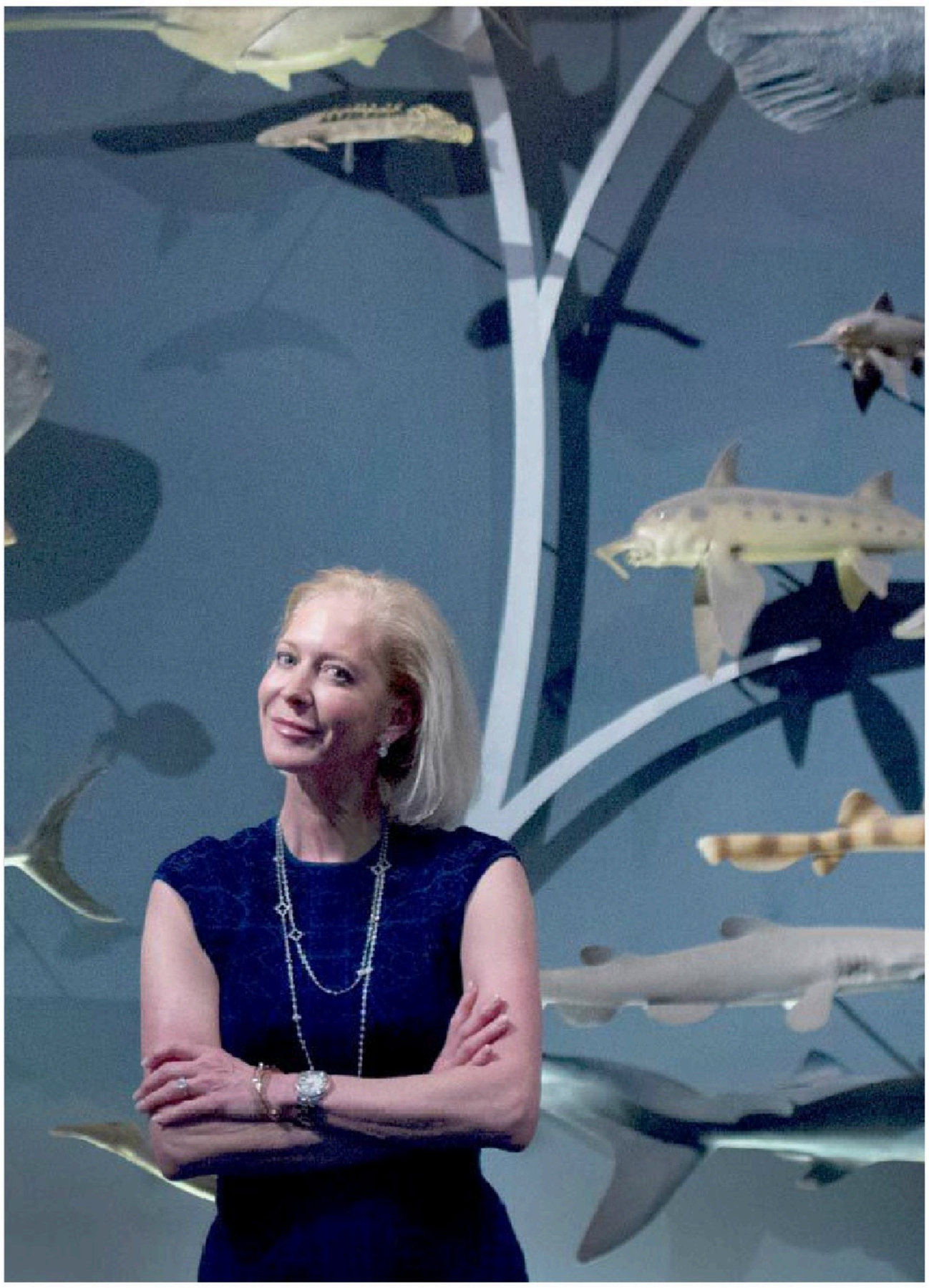
Des projets Toutes ces initiatives sont des projets titanesques, qui vont durer des dizaines d'années et engloutir des milliards de dollars et d'euros, mais à but non lucratif et qui interagissent les uns avec les autres.

Paul Allen ne se contente pas des neurosciences. Il a aussi investi dans l'intelligence artificielle, le programme Seti de mise en place d'un réseau télescopique mondial, la conservation de la vie sauvage en Afrique et dans les océans, ainsi que dans l'art et la culture. C'est le mécène le plus éclectique de notre Top 5.



BEATRICE DE GEA/THE NEW YORK TIMES-REDUX/REA

Wendy Schmidt veille sur les océans



BEATRICE DE GEA/THE NEW YORK TIMES-REDUX/REA

3

Lorsqu'en 1980 Wendy Boyle épouse Eric Schmidt, elle est loin de se douter qu'il deviendra vingt et un ans plus tard le PDG d'une entreprise nommée Google. Devenue alors l'une des femmes les plus riches du monde, elle se lance avec pragmatisme dans la philanthropie. « *Je ne comprends pas comment les gens peuvent se satisfaire de leur propre fortune,* déclarait-elle en mars dernier au site Sfgate. *Si je ne fais pas quelque chose d'utile avec, je ne peux pas m'en satisfaire.* »

Des actions L'activité principale de la Schmidt Family Foundation et de sa vitrine le 11th Hour Project est l'attribution de bourses – substantielles – à des dizaines d'ONG et d'associations agissant dans les domaines du climat et de l'énergie, de la protection des océans, de l'agriculture écologique et des droits de l'homme. En 2006, Wendy Schmidt participe à la distribution du documentaire sur le climat, *Une vérité qui dérange,* présenté par l'ancien vice-président américain Al Gore. En 2009, son mari et elle créent le fonds Schmidt Transformative Technology à l'université de Princeton, doté de 25 millions de dollars (environ 18 millions d'euros), pour l'aide à la recherche en ingénierie et sciences naturelles.

La même année, cette passionnée de voile (elle est membre du comité d'organisation de l'America's Cup) fonde le Schmidt Ocean Institute et transforme en laboratoire océanographique le Falkor, un navire de fabrication allemande. Depuis 2012, ce vaisseau de 82 mètres bourré de technologie est prêté à des scientifiques qui s'engagent à divulguer librement les résultats de leurs recherches.

Des projets En 2012, elle s'associe à la navigatrice britannique Ellen MacArthur pour promouvoir l'économie circulaire, un concept d'industrie « réparatrice » qui n'utilise que des produits biodégradables ou recyclables. Des dotations sont attribuées à plusieurs universités prestigieuses pour la création de départements d'économie circulaire. Ces deux amoureuses de la mer parviendront-elles à changer la Terre ?

4 Yuri Milner, l'ange gardien des physiciens

Trois millions de dollars : c'est ce qu'a touché en 2012 chacun des neuf lauréats de la première édition du Fundamental Physics Prize (soit un peu plus de 2 millions d'euros), créé par Yuri Milner, magnat de l'Internet russe, et qui récompense les découvertes en physique fondamentale.
Par comparaison, le prix Nobel, qui rapporte 1,2 million de dollars (plus de 865 000 euros) souvent partagés entre deux ou trois chercheurs, fait figure de lot de consolation, même s'il est beaucoup plus prestigieux.

Des actions Ce n'est pas la seule différence. Alors que le prix Nobel est souvent remis aux chercheurs à la fin de leur carrière, les lauréats du Fundamental Physics Prize peuvent être jeunes, car la vérification expérimentale n'est pas exigée. De plus, n'importe qui peut proposer une nomination, et les délibérations et les votes du jury sont publics. Enfin, il n'y pas de remise de prix officielle, mais les lauréats sont tenus de donner des conférences pour exposer les résultats de leurs travaux.

Parmi les lauréats de l'édition 2012, on trouve un théoricien de l'expansion de l'Univers, un pionnier de l'ordinateur quantique, un spécialiste de la théorie des cordes et un chercheur qui a résolu le « paradoxe des trous noirs ». Il n'y a eu qu'un gagnant en 2013 (le Russe Alexander Polyakov, de l'université de Princeton, pour ses découvertes sur le champ quantique et la théorie des cordes), et deux en 2014 (Michael Green de l'université de Cambridge, et John Schwarz du California Institute of Technology, pour leur apport à la gravité quantique et à l'unification des forces).

PAUL ENG/REDUX/REA

Des projets L'année dernière, Yuri Milner a créé un deuxième prix, récompensant les découvertes capitales en sciences de la vie (Breakthrough Prize in Life Sciences). Pour cette première édition, onze chercheurs ont reçu cette fameuse enveloppe de trois millions de dollars. Mais Milner s'est fait cette fois aider de quelques amis, dont Mark Zuckerberg (Facebook) et Sergey Brin (Google), pour financer ce nouveau prix.

Yuri Milner a été chercheur à l'Académie des sciences d'URSS, avant de se dire « *déçu par lui-même en tant que physicien* ». Manifestement, il n'en a pas pour autant oublié sa première vocation.

CHEN YIHANG/CHINAFOTOPRESS/MAXPPP

5 Li Ka-Shing, le bon Samaritain des universités

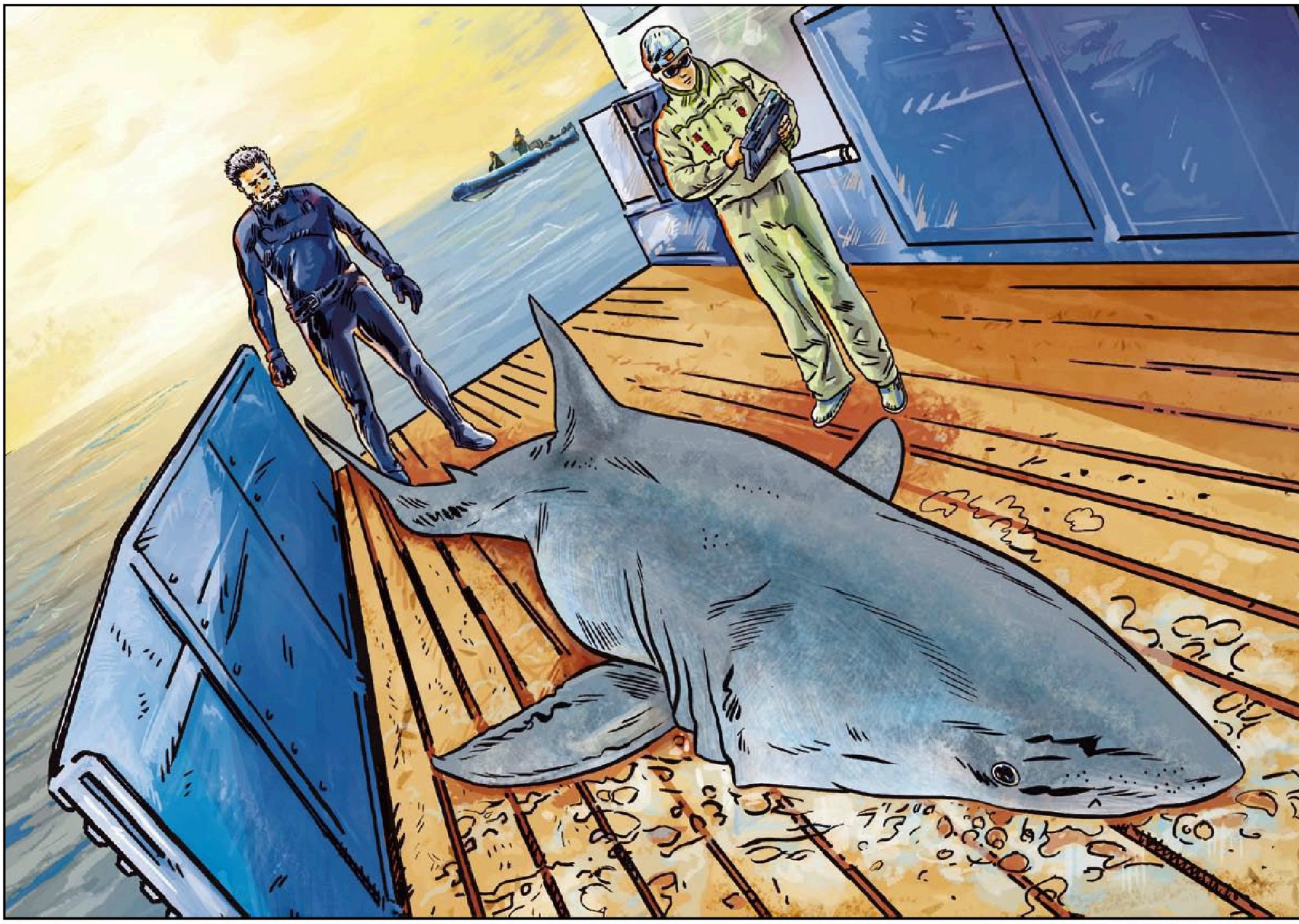
Si vous visitez les universités Stanford, de Berkeley, Singapour ou Polytechnique de Hong Kong, vous serez surpris d'y trouver un bâtiment portant le nom de Li Ka-Shing. C'est parce que ce « tycoon » (grand seigneur) chinois de 85 ans a choisi de soutenir la création ou l'extension de départements de recherche sur la biologie et la médecine dans les universités. Li Ka-Shing considère que « *les soins médicaux sont l'une des principales mesures du degré d'avancement d'une société* » et que « *tout le monde devrait pouvoir en bénéficier* ». Il a ainsi donné 500 millions de dollars (plus de 360 millions d'euros) aux plus prestigieuses universités de la planète.

Des projets Et ce n'est qu'un début, car Li souhaite doter sa fondation (lksf.org) de 10 milliards de dollars (environ 7 milliards d'euros) pour continuer à soutenir la recherche, mais aussi aider les victimes des catastrophes naturelles, comme il l'a fait en 2004, après le tsunami du 26 décembre dans l'océan Indien qui a fait plus de 230 000 morts. Une paille pour l'homme le plus riche d'Asie, qui a fait fortune dans l'immobilier, la finance et la téléphonie, qui détient 0,8 % de Facebook et a racheté Marionnaud en 2005.

Le requin blanc mis sur écoute

En fixant des balises de façon spectaculaire sur des requins blancs pour suivre leurs déplacements, l'organisation américaine Ocearch est devenue extrêmement célèbre. Coup de pub ou vrai projet scientifique ? Notre enquête.

PAR
Julien Bourdet
ILLUSTRATION
Jean-Paul Aussel



Depuis *Les Dents de la mer,* film culte de Steven Spielberg, jamais requin n'était arrivé sur un pont de bateau de façon aussi photogénique. Le 2 mars 2013, au large de Jacksonville, en Floride, un requin blanc femelle de 4,4 mètres et de 900 kilos, pris à l'hameçon, est tiré à proximité du bateau d'Ocearch, une organisation à but non lucratif américaine. Une plate-forme, d'abord immergée, soulève l'animal hors de l'eau. L'équipage calme le requin en lui recouvrant les yeux d'une serviette et introduit un tuyau dans sa bouche pour oxygéner ses branchies. Puis des scientifiques passent à l'action : ils prélèvent du sang du requin, collectent des parasites entre ses dents acérées et lui font même une échographie pour savoir si elle porte des petits. Tout cela en quinze minutes et sans anesthésie. Clou du spectacle : les chercheurs vissent une balise satellite sur l'aileron du squale à l'aide d'une perceuse et de boulons. Ainsi équipé, le requin, baptisé Lydia par l'équipage, est remis à l'eau.

Le périple de Lydia peut être suivi sur Internet, chaque point représentant sa remontée à la surface. Le requin détient le record de distance connu de son espèce, avec 35 000 km parcourus depuis le 2 mars 2013. WWW.OCEARCH.ORG

La méthode utilisée par les chercheurs d'Ocearch exige de sortir l'animal de l'eau et de l'immobiliser.

Lydia à suivre sur Facebook et Twitter

Depuis son impressionnante capture, Lydia est suivie à la trace par les chercheurs grâce à sa balise qui indique sa position géographique. Et le public se régale. Flattant notre fascination pour le grand carnassier, Ocearch a en effet eu la riche idée de mettre à disposition ses données : tout à chacun peut donc suivre les pérégrinations du requin, mais aussi de ses congénères Nemo, Gina… en temps réel, via le site web de l'organisation ou les réseaux sociaux (Facebook et Twitter). En mars, Lydia a ainsi atteint des records d'audience lorsqu'elle a confirmé qu'un grand blanc pouvait traverser l'Atlantique. Et avec près de 35 000 km parcourus à ce jour, elle détient également le record de distance connu pour son espèce.

Cette soudaine renommée a, dans le même temps, suscité les critiques qui dénoncent une méthode de capture violente, dans le seul but d'attirer l'attention du public et des médias. Alors, coup médiatique ou vrai projet scientifique ? Pour répondre à cette question, il faut savoir exactement qui se cache derrière Ocearch.

« ON NE SAIT PRESQUE RIEN SUR LEUR REPRODUCTION : NI OÙ ILS S'ACCOUPLENT, NI OÙ ILS METTENT BAS »

DR

BERNARD SÉRET, spécialiste des requins à l'Institut de recherche pour le développement

À la tête de cette organisation financée par plusieurs sponsors, se trouve le charismatique Chris Fischer. Ancien présentateur d'une émission de télévision consacrée à la mer, il est connu pour ses positions en faveur de la protection des espèces et d'une pêche responsable. En 2007, il a l'idée de réunir des pêcheurs professionnels et des scientifiques spécialistes des requins, deux communautés qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble. Avec l'objectif affiché de collecter des données uniques sur les grands blancs pour décrypter leurs mœurs.

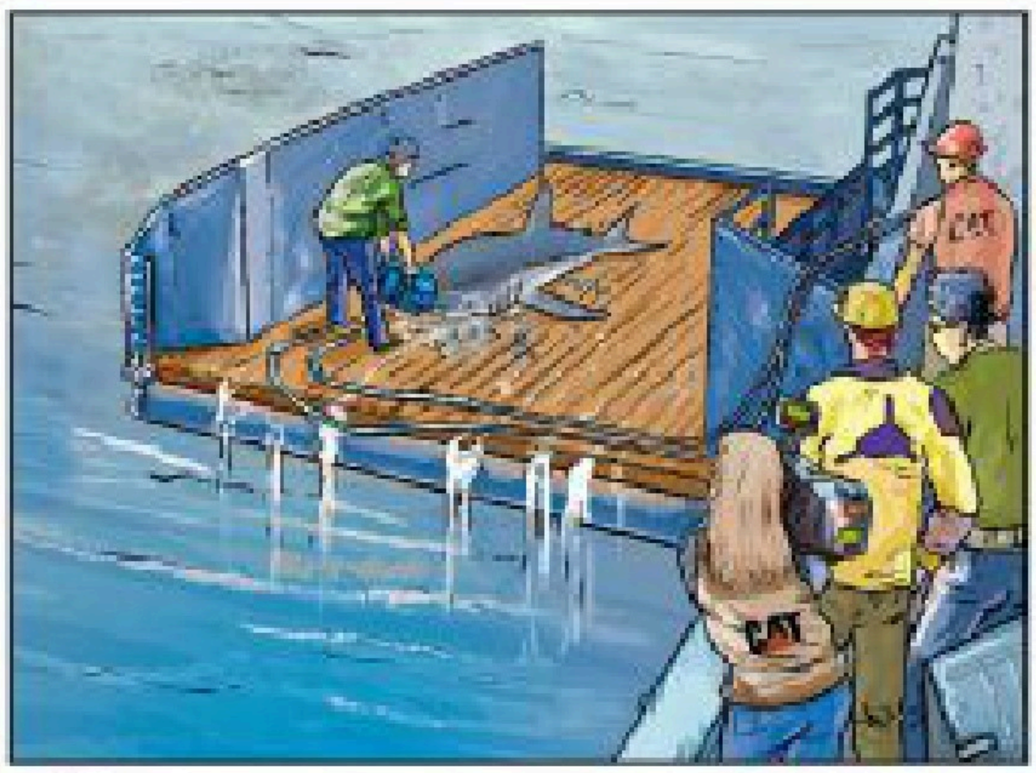
Des animaux qui ont encore une vie privée

Il faut dire que, malgré leur statut d'icône, ces squales restent aujourd'hui encore bien mystérieux. Si l'on sait que les requins blancs occupent le sommet de la chaîne alimentaire et qu'à ce titre, ils jouent un rôle majeur dans l'équilibre des écosystèmes, en revanche, « *on connaît encore très peu de chose sur leur mode de vie,* reconnaît Bernard Séret, spécialiste des requins à l'Institut de recherche pour le développement. *Pour ne prendre qu'un seul exemple, on ne sait pratiquement rien sur leur reproduction : ni où ils s'accouplent, ni où ils mettent bas* ».

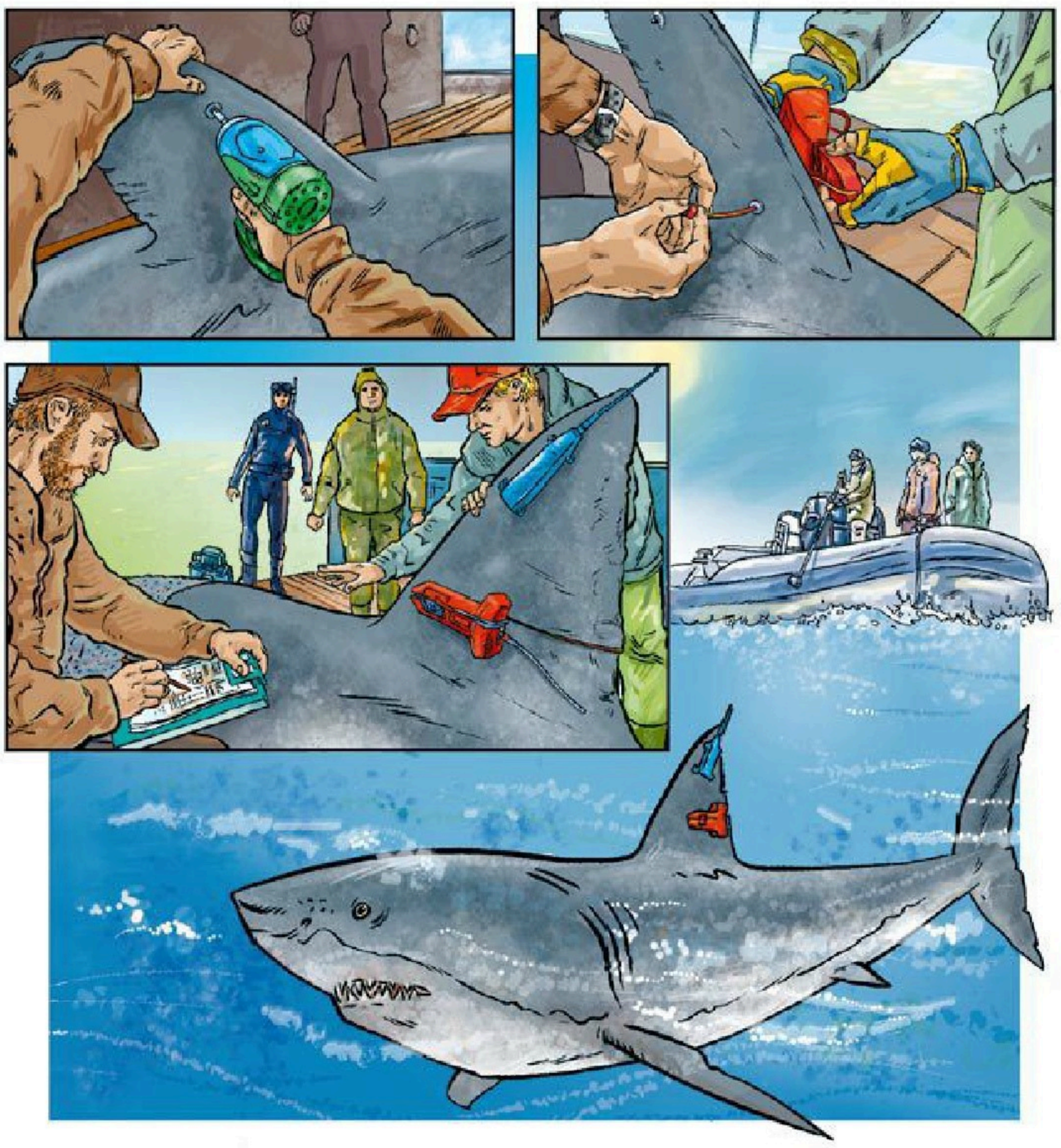
L'ambition d'Ocearch est précisément de mieux connaître ces zones géographiques clés, mais aussi les endroits où les requins reviennent régulièrement chasser ainsi que leurs routes de migration. Autant d'informations qui pourraient permettre de mieux protéger une espèce aujourd'hui menacée par la surpêche. Mais aussi de prévenir les attaques de requins près des plages (lire « Diminuer le risque d'attaque », p. 87).

Pour rassembler ces précieuses données, Ocearch a décidé d'utiliser des balises satellite, une technologie employée par les scientifiques sur différentes espèces de requins depuis une dizaine d'années. Positionné sur l'aileron, ce dispositif émet un signal radio aux satellites dévolus à cette recherche – typiquement le réseau Argos – à chaque fois que le squale fait surface, les

L'étude scientifique commence par une partie de pêche au gros. Au bout de l'hameçon, un requin blanc de 4,4 m de long et de 900 kg.



L'animal, baptisé Lydia, va passer quinze minutes hors de l'eau, le temps de procéder à l'opération de marquage, après avoir été posé sur une plate-forme immergée.



À l'aide d'une perceuse, les chercheurs font un trou dans l'aileron puis fixent solidement la balise GPS et un accéléromètre avec des boulons. Ainsi équipé, le requin peut retourner vaquer à ses occupations.

Lydia passe à la visite médicale : poids, taille, analyse de sang, examen dentaire et échographie. L'animal n'est même pas endormi.

ondes radio ne passant pas sous l'eau. On peut alors déterminer la localisation de l'animal sur le globe en temps réel et à quelques centaines de mètres près.

« *Un énorme avantage si l'on veut pouvoir un jour délimiter avec précision des aires de conservation pour les requins, ou encore éviter que des bateaux de pêche les prennent accidentellement dans leurs filets dans les zones où on aura observé de fortes concentrations de squales* », note François Poisson, de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), qui mène actuellement une campagne de marquage de requins en Méditerranée (voir le site www.stellaris-asso.org).

Pour pouvoir fonctionner pendant un an ou plus et fournir ainsi suffisamment d'informations, les balises doivent être solidement fixées sur l'animal. D'où l'utilisation de vis qui sont passées à travers l'aileron du requin. Une contrainte qui impose d'immobiliser l'animal. C'est pourquoi, jusqu'ici, cette technique était réservée aux petits requins. Peu de scientifiques l'avaient adoptée pour marquer des requins blancs, qui peuvent mesurer jusqu'à 6 mètres. Mais quand cela a été le cas, ils ont enregistré de beaux succès. Ainsi, en 2005, Ramon Bonfil et son équipe du Wildlife Conservation Society, aux États-Unis, ont observé une femelle grand blanc traverser l'océan Indien entre l'Afrique du Sud et l'Australie, révélant que ces squales sont capables de parcourir des distances considérables.

Avec la traversée de l'Atlantique par Lydia, Ocearch vient conforter cette idée. Et également confirmer l'intérêt d'utiliser de telles balises. Mais le projet de Chris Fischer est autrement plus ambitieux que tout ce qui s'est fait jusqu'à présent. Grâce à sa technique de capture unique – personne auparavant n'avait utilisé de plate-forme pour sortir le requin de l'eau –, son équipe a pu marquer à ce jour près de 80 requins blancs, au cours de 18 expéditions menées, depuis 2007, des îles Galápagos à l'Afrique du Sud en passant par le Massachusetts. Ce qui promet d'autres résultats.
Mais les campagnes d'Ocearch ne sont pas du goût de tout le monde.

Deux techniques sont utilisées pour marquer les requins : la balise pop-up (à gauche) et la balise satellite qui nécessite de faire un trou dans l'aileron (à droite). IRD ET JEWELL ET AL

Aux yeux de certains scientifiques et de certaines associations de défense des animaux – qui ont fait circuler plusieurs pétitions et créé une page Facebook appelant à boycotter l'organisation – les méthodes utilisées par l'ONG américaine seraient beaucoup trop violentes pour les requins.

Une méthode musclée mais efficace

En attestent ces photos où l'on voit les blessures infligées par les hameçons à la gueule de certains spécimens. Ou encore ces clichés qui montrent les cicatrices laissées sur les ailerons d'autres requins après que la balise s'en soit détachée. Pire : en 2012, en Afrique du Sud, un requin est mort à la suite de sa capture – c'est la seule victime enregistrée à ce jour. « *Les méthodes d'Ocearch vont à l'encontre de la règle que tout biologiste devrait respecter : ne jamais provoquer de souffrance chez les animaux qu'il étudie* », juge ainsi le chercheur italien Alessandro De Maddalena, fondateur du groupe d'étude des requins de Méditerranée. Un avis qui est toutefois loin de faire l'unanimité dans la communauté scientifique. « *Il ne faut pas nier certains effets potentiellement négatifs de cette technologie sur les requins, mais vu les perspectives qu'elle nous offre dans la connaissance du comportement de ces animaux, on ne peut pas imaginer s'en priver* », confie ainsi François Poisson. Même son de cloche pour Christophe Guinet, spécialiste des mammifères marins au Centre d'études biologiques de Chizé. « *Ces balises satellite ont déjà fait leurs preuves pour l'étude des dauphins par exemple, où elles sont installées de la même façon, sur l'aileron. Ce système de fixation n'est pas idéal mais les observations montrent qu'il n'entraîne quasiment pas de mortalité chez ces cétacés.* »

Sur son site internet, Ocearch – qui n'a pas souhaité répondre à nos questions et ne nous a pas autorisés à publier ses photos –, tord le cou à ces critiques. D'après l'organisation, les données fournies par les accéléromètres placés sur les requins en même temps que les balises montrent que les squales recommencent à nager normalement quatre heures seulement après avoir été relâchés. Et Ocearch insiste également sur le fait que les squales s'infligent entre eux des blessures profondes qui ne

Des millions de requins sont encore massacrés pour leurs ailerons destinés à la soupe traditionnelle chinoise, un plat de plus en plus prisé par la classe moyenne. ANDREW ROSS/AFP

1 sur 3

C'EST LA PROPORTION de requins menacés d'extinction, d'après l'Union internationale pour la conservation de la nature. En cause : la soupe d'ailerons, la surpêche et la pollution.

les empêchent pas de survivre. Face à tous ces arguments, les anti-Ocearch rétorquent qu'il existe une méthode plus douce pour installer des balises sur les requins : en les implantant depuis un bateau dans la peau de l'animal au moyen d'une lance. Avec cette technique, on ne peut pas placer de balise satellite mais un autre type de balise dite "pop-up". Celle-ci est programmée pour se détacher de l'animal au bout de plusieurs mois. Elle remonte alors en surface et transmet ses données – le parcours des requins et la profondeur à laquelle ils ont plongé – stockées dans sa mémoire interne.

Bientôt des sondes implantées dans l'estomac

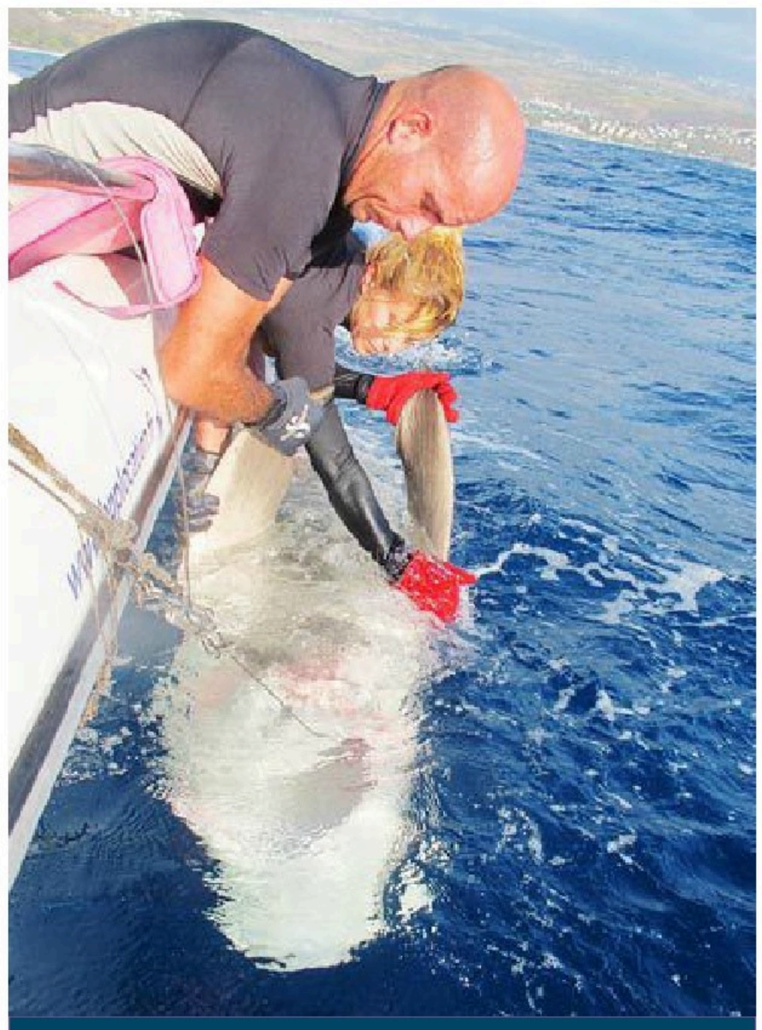
Ce marquage est le plus utilisé à ce jour pour les requins blancs. Il a permis d'obtenir d'importants résultats : on a pu par exemple montrer que, dans le Pacifique, les requins quittaient en hiver les côtes californiennes – où ils se nourrissent de phoques et de lions de mer – pour passer la majorité de l'année au milieu de l'océan, pour une raison qu'on ignore encore.

Mais ces balises pop-up présentent de sérieuses limitations par rapport aux balises satellite. Moins bien ancrées sur le requin, elles sont susceptibles de se détacher prématurément. Et leur précision spatiale est beaucoup moins bonne, de l'ordre d'une centaine de kilomètres. Car la position des requins est calculée à partir de la luminosité mesurée par la balise : connaissant l'heure de lever et de coucher du soleil, on peut ainsi estimer la latitude et la longitude, mais seulement de façon grossière.

N'en déplaise aux détracteurs d'Ocearch, ces balises pop-up ne sont donc pas la panacée pour étudier les requins blancs. En réalité, « *la tendance actuelle est plutôt de placer deux balises, une pop-up et une satellite sur l'animal* [c'est d'ailleurs ce que fait Ocearch, ndlr], confie Bernard Séret. *La première donne une information précise sur les profondeurs atteintes par les requins, la deuxième sur leurs déplacements* ».

Et la panoplie des outils d'étude des requins ne cesse de s'étoffer. Déjà, des accéléromètres, comme ceux déployés par Ocearch, permettent de dire à quel moment les requins nagent tranquillement et à quel autre ils sprintent pour chasser leurs proies. Des caméras embarquées dévoilent leur intimité. Et bientôt, des sondes implantées à l'intérieur des squales révéleront la température de leur estomac, ce qui permettra d'estimer la fréquence à laquelle ils s'alimentent.

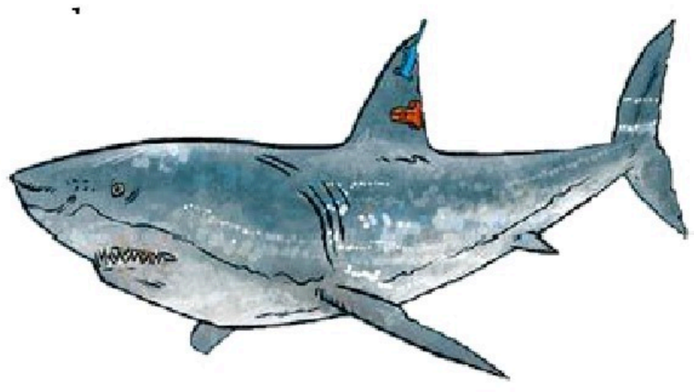
Pour les scientifiques, c'est une certitude : plus le nombre de requins blancs équipés de balises et autres capteurs sera [illegible] mieux on pourra les co[illegible] Les bateaux de recherc[illegible] scientifique comme celui d'Ocearch n'ont donc pas fini de sillonner les océans. ✳



DIMINUER LE RISQUE D'ATTAQUE

À La Réunion, dans le cadre de son programme baptisé Charc, l'Institut de recherche pour le développement a balisé 80 requins (photo). « *Les données indiquent qu'ils sont surtout présents près des côtes l'après-midi, et plus l'hiver que l'été* », explique Marc Soria, responsable du programme. À terme, les résultats de ce projet pourraient permettre de mettre en place un modèle de prévention du risque requin, qui, outre la saison et la période de la journée, prendrait en compte la turbidité de l'eau – sa teneur en matières qui la troublent –, et la météo.

Dans le monde, en 2013, plus de 70 personnes ont été attaquées par des requins, dont 10 mortellement. Pour réduire ce risque, les scientifiques se sont lancés dans des campagnes de suivi des requins par balise. Objectif : cartographier précisément le déplacement des squales pour savoir où et quand ils sont le plus susceptibles d'attaquer. PASCALE CHABANET/IRD



La Recherche votre magazine favori vous ouvre ses archives...

LE MAGAZINE
6,40€ le numéro

Année 2012

N° 459 janvier 2012
Dossier : Le coeur artificiel.
Événement : Le lac sous-glacière Vostok bientôt atteint.

N° 460 février 2012
SPÉCIAL : Les 10 découvertes de l'année.

N° 461 février 2012
Dossier : La physique de l'invisible.
Événement : Les mystérieuses origines des fossiles de Doushanto.

N° 462 mars 2012
Dossier : Vaincre la douleur.
Événement : Stradivarius, la fin du mythe.

N° 463 avril 2012
Dossier : Epigénétique, l'hérédité au-delà des gènes.
Événement : Controverse autour d'un « supervirus » de la grippe.

N° 464 mai 2012
Dossier : La théorie de la complexité.
Événement : Fertilité, les cellules souches bien cachées.

N° 465 juin 2012
Dossier : Troubles mentaux, l'escroquerie.
Événement : Taux d'acidification record pour les océans.

N° 466 juillet-août 2012
SPÉCIAL : La physique du XXIe siècle.
Événement : La saga de la grotte Chauvet.

N° 467 septembre 2012
Dossier : Comment Internet modèle notre cerveau.

N° 468 octobre 2012
Dossier : Les nouvelles voies de l'immunité.

N° 469 novembre 2012
Dossier : Boson de Higgs : Le pari gagné des physiciens.

N° 470 décembre 2012
Dossier : OGM : vérités & mensonges

Année 2013

N° 471 janvier 2013
SPÉCIAL : Les 10 plus belles découvertes de l'année.

N° 472 février 2013
Dossier : Climat : Ce qui nous attend vraiment.

N° 473 mars 2013
Dossier : Comment notre cerveau décide.

N° 474 avril 2013
Dossier : Quand la matière émerge du vide.

N° 475 mai 2013
Dossier : Voyage dans le futur.

N° 476 juin 2013
Dossier : Perturbateurs endocriniens. Comment ils menacent notre santé.

N° 477 juillet-août 2013
SPÉCIAL : Cerveau. Comment notre cerveau perçoit le monde ?

N° 478 août 2013
SPÉCIAL : 500 ans de controverses scientifiques.

N° 479 septembre 2013
Dossier : Energie noire. Pourquoi l'Univers accélère.

N° 480 octobre 2013
Dossier : Comment naissent les espèces.

N° 481 novembre 2013
Dossier : La science de Stephen Hawking.

N° 482 décembre 2013
Dossier : Big Data. Traitement massif des données.

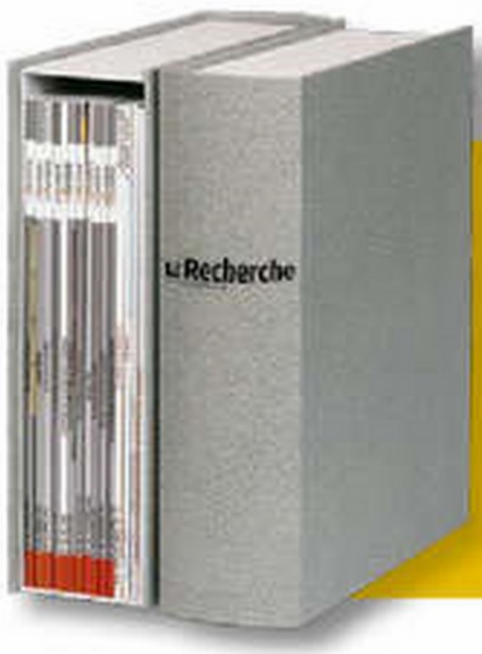
Année 2014

N°483 janvier 2014
SPÉCIAL : Le top des 10 découvertes de l'année

N°484 février 2014
Entretien : Peter Higgs

N°485 mars 2014
Dossier : ordinateur quantique. Les physiciens testent les premières machines.

N°486 avril 2014
Dossier : Le génie d'Alexandre Grothendieck.



Et pour conserver votre collection précieusement

➲ **l'écrin 12 numéros**
18€ seulement
(hors frais de port)

LES DOSSIERS DE LA RECHERCHE
6,90€ le numéro

Année 2010

RD38 : La lumière quantique
RD39 : La valse des espèces
RD40 : Le cerveau
RD41 : Microbes

Année 2011

RD42 : L'héritage Marie Curie
RD43 : La théorie du tout
RD44 : Les idées reçues en science et en technologie
RD45 : Neandertal, notre nouvel ancêtre
RD46 : La révolution des mathématiques

Année 2012

RD47 : Les énergies de demain
RD48 : Dieu et la science
RD49 : La mémoire
RD50 : Les plus belles énigmes de la science
RD51 : Les pôles, enjeu planétaire
SP01 : La naissance

Année 2013

SP02 : Les origines de la vie
SP03 : Les abysses
SP04 : Les particules élémentaires
SP05 : Jeux de mathématiques et de physique
SP06 : Addictions
SP07 : L'album de l'année 2013

Année 2014

SP08 : L'intelligence artificielle — NOUVELLE FORMULE
SP09 : Les nouvelles dimensions du son

NOUVEAU ! **La Recherche** lance

www.sophiaboutique.fr

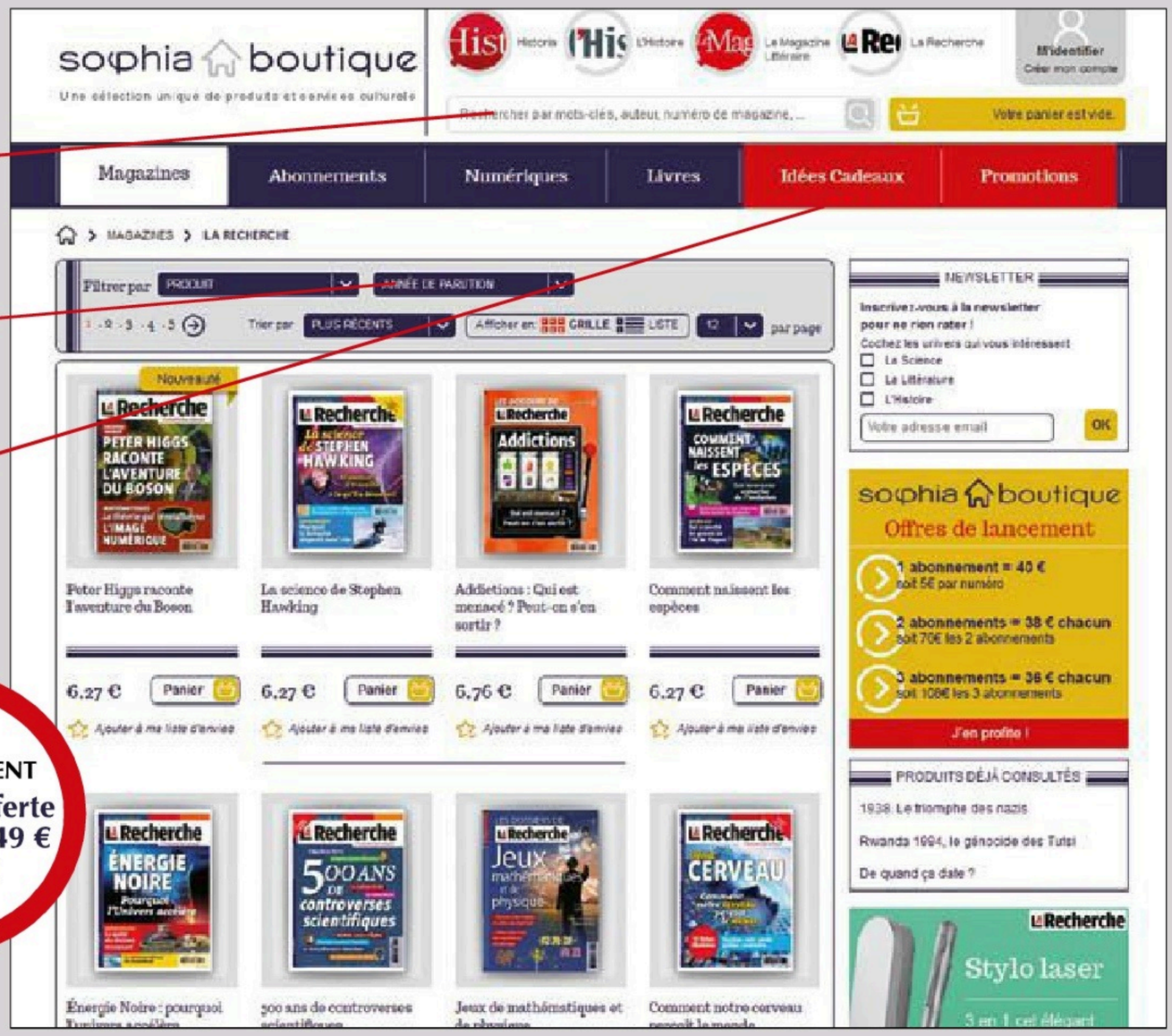
Retrouvez l'intégralité des produits disponibles de **La Rech** …es papier et numérique, livres et Ebooks, voyages, conférences…mais … sélection de produits recommandés par nos auteurs et spécialistes.

Une navigation facilitée par un moteur de recherche avec suggestion de mots-clés

De nombreux critères de sélections pour affiner votre recherche

Des idées cadeaux sélectionnés par nos rédacteurs

Et tout au long de l'année, des promotions jusqu'à 50% de remise sur vos produits préférés, des déstockages à partir de 1,90 € et plein d'autres avantages



ACTUELLEMENT
Livraison offerte à partir de 49 € d'achat

Connectez-vous vite sur www.sophiaboutique.fr

Livraison à domicile rapide
NOUVEAU ! livraison en Point Relay

Paiement sécurisé

Satisfait ou remboursé

100% des articles en stock

Bon de commande

À retourner sous enveloppe affranchie à LA RECHERCHE
BP 65 - 24 chemin Latéral - 45390 Puiseaux - ✆ 33 (0) 2 38 33 42 89 - nchevallier.s@orange.fr

J'indique mes coordonnées :

V10

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville : Pays :

Oui, je souhaite recevoir dans les 10 jours la commande ci-dessous

Indiquez ci-dessous les numéros souhaités	Quantité	Prix unitaire TTC	TOTAL TTC
■ LA RECHERCHE - préciser le/les numéro(s) **6,40€**			
	_____	**6,40 €**	_____ €
■ LES DOSSIERS DE LA RECHERCHE - préciser la/les référence(s) commençant par RD et SP **6,90€**			
	_____	**6,90€**	_____
■ L'écrin LA RECHERCHE 12 numéros **18€**		**18,00 €**	€
FRAIS DE PORT : 1 numéro : **1,50€** / numéro supplémentaire : **+ 0,50€** 1 écrin : **5,08€** / 2 ou 3 écrins : **6,02€**	_____ _____		_____ € _____ €
Total de ma commande (Frais de port inclus)			€

E-mail :
Si vous souhaitez recevoir des offres de notre part, merci de nous indiquer votre e-mail.

Je règle aujourd'hui par :

❒ chèque à l'ordre de *SOPHIA PUBLICATIONS* ❒ carte bancaire

N° | | | | | | | | | | | | | | | | |

Je note aussi les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de ma carte bancaire,
au niveau de la signature : | | | Expire fin : | | | |

Signature obligatoire :

Votre commande sera expédiée à réception de votre règlement.

Loi informatique et libertés : vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant. Elles pourront être cédées à des organismes extérieurs sauf si vous cochez la case ci-contre ☐

Le biologiste américain Craig Venter a créé la toute première bactérie synthétique, contenant une séquence d'ADN construite en laboratoire. MIKE BLAKE/REUTERS

À qui va profiter la biologie de synthèse ?

Le généticien américain Richard Lewontin analyse les raisons pour lesquelles certains scientifiques veulent créer de nouveaux êtres vivants.

PAR
Richard Lewontin
TRADUCTION DU
New York Review Books
par Karine Guerrouche

La possibilité de créer intentionnellement des organismes vivants à partir de matériaux élémentaires inanimés nourrit l'imaginaire humain depuis très longtemps. En dehors de la Genèse, qui fournit bien peu de détails concrets sur la création de la vie à partir d'eau et de poussière, nous pensons au sculpteur Pygmalion, dont l'histoire remonte à la Grèce antique. Amoureux de la déesse Aphrodite qui reste insensible à ses charmes, Pygmalion crée une statue d'ivoire. Sous la chaleur de ses caresses et grâce aux pouvoirs d'Aphrodite, la statue perd lentement de sa rigidité et prend vie. Elle devient alors Galatée, une véritable femme au sens biologique du terme, qui s'unira à son créateur humain et donnera naissance à deux enfants.

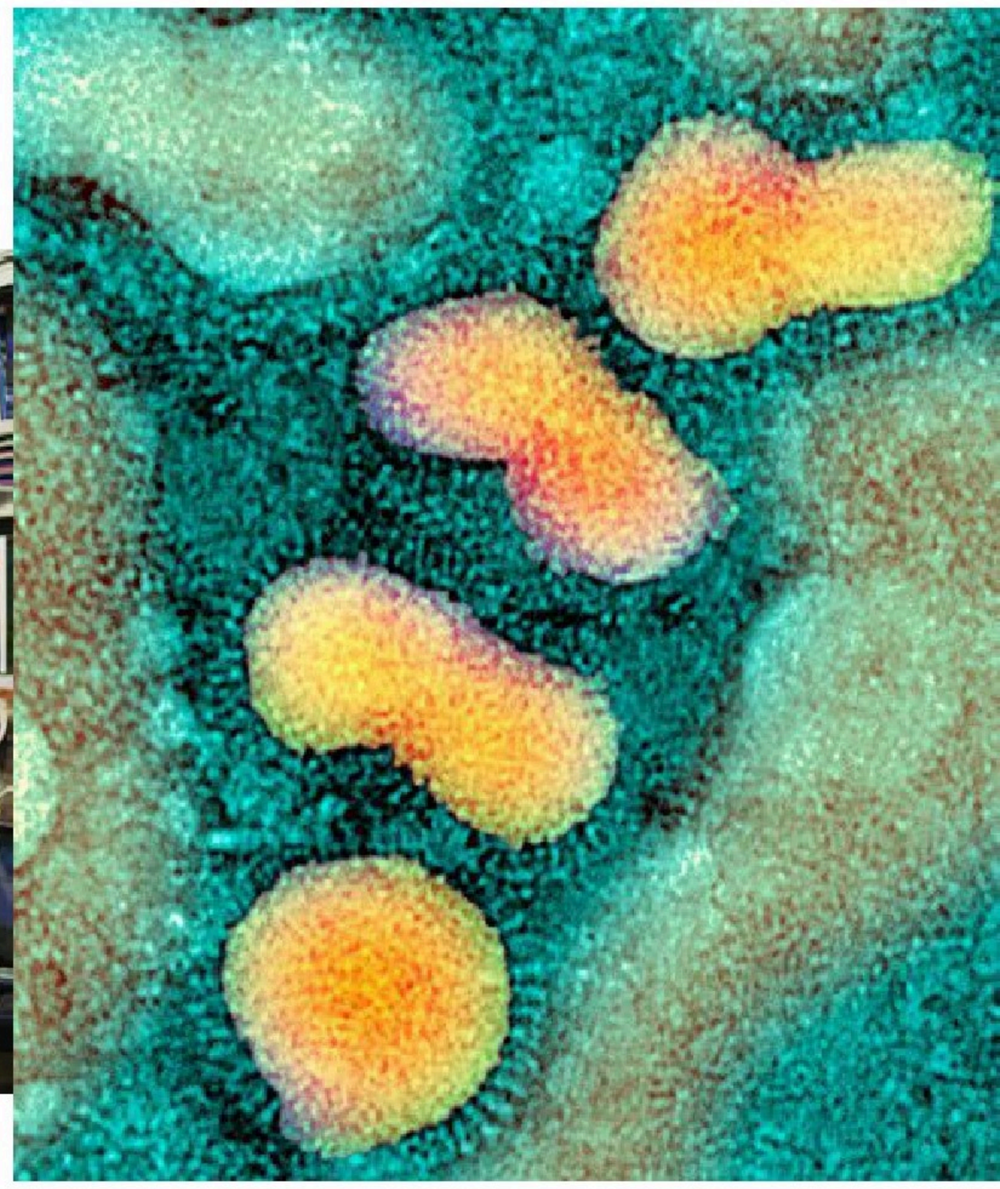
Au XVII^e siècle, Descartes avait réduit les activités vitales des animaux au fonctionnement d'un animal-machine ; en 1748, La Mettrie avait étendu la métaphore aux humains, parlant d'homme-machine. Accepter cette métaphore signifie que, de la même façon que nous pouvons imaginer et construire un mécanisme avec des pièces fabriquées, il devrait être possible de créer de nouvelles formes d'organismes vivants en concevant des éléments puis en les assemblant, dès que nous aurons compris les propriétés chimiques et structurelles des formes de vie naturelles existantes.

Mais pour que cette métaphore fonctionne, nous ne pouvons pas nous contenter d'une description et d'un assemblage de pignons et de leviers. Il faut faire intervenir une force dynamique. Même une horloge mécanique a besoin d'un apport d'énergie pour être remontée. Et les machines électriques nécessitent aussi d'être alimentées en permanence, que ce soit par une source d'énergie physique ou par des réactions chimiques. La conception assimilant les organismes vivants à de simples machines est donc restée incomplète jusqu'au dernier quart du XVIII^e siècle. Volta a alors découvert la possibilité de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique. Quant à Galvani, il a démontré que l'on peut provoquer des spasmes chez une grenouille disséquée en mettant des muscles en contact avec un instrument composé de différents métaux.

Il reste à savoir pourquoi quelqu'un voudrait se lancer dans la création d'un organisme vivant à partir de composants élémentaires, alors que les moyens à mobiliser pour y parvenir et les risques d'échec sont considérables. Une partie de la réponse réside dans la volonté farouche d'aller au bout d'une entreprise intellectuelle. L'auteur de *Frankenstein,* Mary Shelley, son frère, ainsi que Lord Byron, appartenaient à un cercle de partisans de Galvani. Ils étaient convaincus que les activités vitales des organismes, y compris leurs processus mentaux, étaient la manifestation de réactions chimiques qui se produisaient dans le corps. Sans donner plus de détails, Mary Shelley expliquait que, pour réaliser son projet de créer un être vivant, le docteur Frankenstein s'était procuré, outre des ossements et autres parties anatomiques, des « *instruments* » qui devaient lui permettre de communiquer une étincelle de vie à la chose inanimée qui gisait devant lui. *[…]*.

Dans la parodie de Mel Brooks, *Frankenstein junior* donne une étincelle de vie à l'être qu'il vient de fabriquer.
RUE DES ARCHIVES/RDA

NIBSC/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS



À l'époque moderne, Craig Venter, le directeur du J. Craig Venter Institute, a annoncé avoir créé une bactérie artificielle vivante, opérationnelle, capable de se reproduire et contenant une séquence d'ADN construite en laboratoire. D'après l'essai de Laurie Garrett paru dans le magazine *Foreign Affairs* de novembre/décembre 2013 sous le titre « Biology's Brave New World : The Promise and Perils of the Synbio Revolution », cette cellule pouvait se déplacer, se nourrir, respirer et se répliquer.

La dimension qui n'était pas encore présente dans l'intérêt manifesté pour la création artificielle de la vie au début du XIX^e^ siècle était la possibilité de gains financiers considérables. La biotechnologie ne devait faire son apparition qu'un siècle et demi plus tard. Selon Garrett, Venter n'est pas seulement l'homme le plus puissant du secteur des biotechnologies, il est aussi le plus riche. Le J. Craig Venter Institute a déjà travaillé avec des compagnies pétrolières et des laboratoires pharmaceutiques pour créer des micro-organismes capables de produire des combustibles et des vaccins.

Au XIX^e^ siècle, l'une des craintes de ceux qui envisageaient la possibilité de créer la vie artificiellement - et ce thème est d'ailleurs au centre du *Frankenstein* de Shelley - était la Némésis, terme qui désignait les conséquences inévitables de la démesure du créateur. Aujourd'hui, le même problème se pose à nous, mais à une échelle autrement plus grande. Dans un entretien de 2009 cité par Garrett, Venter

DIRK JAN VISSER/HH-REA

avait déclaré : « *Il n'y a pas un seul aspect de la vie humaine qui ne soit susceptible d'être totalement transformé par ces technologies dans le futur.* » Pas un seul aspect ! Faut-il comprendre qu'il nous promet la possibilité d'accéder à la vie éternelle ?

Aucun précédent historique ne donne à penser que ceux qui contrôlent la production de matériaux et s'enrichissent de cette manière seront vraiment fiables. Ni qu'ils auront la clairvoyance, la créativité et l'énergie nécessaires pour nous protéger contre les effets néfastes éventuels de la biologie de synthèse. Comment serait résolu un conflit entre les conséquences immédiates et à long terme ou entre le bien public et les intérêts privés ? Pouvons-nous compter sur une intervention de l'État si des considérations privées interfèrent avec l'intérêt public ? Et qui interviendra si l'État lui-même menace la sécurité et le bien-être des citoyens ? Garrett illustre ce point à l'aide d'un exemple bien réel et effrayant.

En 2011, un chercheur du centre hospitalier universitaire Érasme de Rotterdam et un chercheur de l'université du Wisconsin (Ron Fouchier et Yoshihiro Kawaoka, ndlr) ont annoncé chacun de leur côté avoir transformé un des virus responsables de la grippe aviaire, le H5N1 (qui très exceptionnellement pouvait être transmis des oiseaux à l'homme

2 %

DE L'ÉCONOMIE AMÉRICAINE
est liée au génie biologique et à la biologie de synthèse, selon Drew Endy, de l'université Stanford, aux États-Unis

Ron Fouchier (à gauche) et Yoshihiro Kawaoka (ci-dessous) ont manipulé le virus grippal H5N1 (au centre) pour en faire une souche plus contagieuse.

BRYCE RICHTER/UNIV. OF WISCONSIN-MADISON

et provoquait alors le décès du patient dans environ 60 % des cas) en une souche qui pouvait se propager directement et facilement entre des mammifères de laboratoire. Si ce virus pouvait infecter des humains, les conséquences seraient catastrophiques : on se souvient en effet que la terrible épidémie de grippe de 1918 avait tué plus de 50 millions de personnes, soit environ 2,5 % de la population mondiale.

Un comité spécial des instituts américains de la santé a tenté d'empêcher que les détails des méthodes utilisées figurent dans les articles relatant ces expériences. Il considérait que leur publication reviendrait à diffuser une recette de génocide à l'échelle mondiale. Cette tentative de censure ayant échoué, les méthodes complètes ont été publiées en 2012 dans les deux revues scientifiques les plus lues, à savoir *Science* et *Nature*. L'an dernier, les Chinois ont produit cinq nouveaux virus de type H5N1 qui peuvent contaminer des cobayes par voie aérienne et les tuer.

La question que pose cette affaire est celle de la motivation initiale des recherches. Naturellement, il y a le désir de certains États de se doter d'armes biologiques. Elles leur confèreront une puissance militaire sachant qu'ils considèrent, probablement à juste titre, que des conflits internationaux vont inévitablement éclater. Et il y a, à l'inverse, leur désir de se protéger contre ces mêmes armes utilisées contre eux par des concurrents étrangers.

Mais il existe une autre motivation, à la fois plus forte et semble-t-il plus constructive. Laurie Garrett cite Drew Endy, qui dirige le département de génie biologique à l'université Stanford, aux États-Unis. Ce dernier estime qu'à l'heure actuelle 2 % de l'économie américaine est liée au génie biologique et à la biologie de synthèse. Le chiffre augmente de 12 % chaque année. Les résultats tangibles de ces activités sont, par exemple, l'élaboration de produits génétiquement modifiés (maïs, tomates, etc.) et de nouveaux micro-organismes servant à détecter des polluants toxiques pour l'environnement.

Une des manifestations de la vitalité de ce secteur de l'économie est le concours international de machines génétiquement modifiées (iGEM), qui met en compétition des étudiants d'université en vue de créer de nouvelles formes de vie. L'édition 2006 a ainsi été couronnée par la création d'une bactérie qui met en évidence la présence d'arsenic dans l'eau en devenant lumineuse. Des séquences d'ADN déterminant la luminescence et la sensibilité à l'arsenic ont été insérées dans une bactérie inoffensive. Puis les chercheurs ont vérifié que les bactéries obtenues étaient saines et pouvaient se reproduire. L'animal-machine a cessé d'être une simple métaphore ; il est devenu un jeu de construction pour grands adolescents, une compétition qui pourrait être détournée à des fins atroces, par exemple l'invention de nouvelles armes.

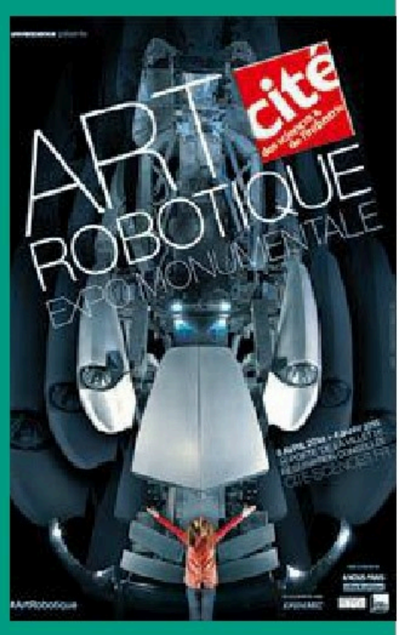
L'enjeu central examiné dans l'article de Laurie Garrett est la menace que constitue pour la santé humaine et la stabilité politique notre capacité à manipuler les caractères biologiques héréditaires d'organismes pathogènes, voire à créer de nouveaux pathogènes vivants, avec les risques que cela comporte. Mais il existe un domaine d'application très différent du génie biologique, susceptible d'intéresser les manipulateurs de génomes et qui, à première vue, est extrêmement prometteur pour ce qui concerne l'amélioration de la productivité humaine. En manipulant le génome de divers végétaux et animaux, nous pourrions en principe doper la productivité des fermes et des forêts, des lacs, des rivières et des mers, ce qui permettrait, en principe, d'améliorer la vie humaine. ✳

LE COUP DE CŒUR

ARNAUD ROBIN

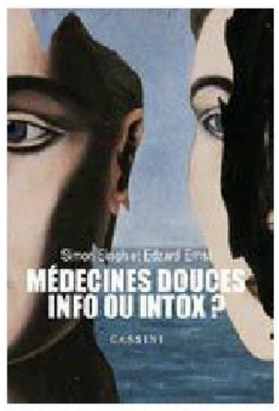
ART ROBOTIQUE : EXPO MONUMENTALE

À la croisée de l'art, de la science et de la technologie, cette exposition est une première en France. Des artistes de renommée internationale ont réuni sur 1 600 m² une vingtaine d'œuvres aussi dynamiques que fascinantes. Dès l'entrée, la Totemobile, reproduction de la Citroën DS, se métamorphose sous vos yeux en une œuvre de 18 mètres de haut. Plus loin, la créature de plage imaginée par le Néerlandais Theo Jansen se déplace grâce à la force du vent et à la présence du sable humide. Trois animations sont proposées chaque mercredi et pendant les week-ends : visite guidée de l'exposition avec le robot Nao, mis au point par Aldebaran, un stage de construction de robots et une présentation des robots new generation. Joyau de l'exposition : une matrice liquide capable de réaliser des sculptures d'eau éphémères en 3D (photo).



Cité des sciences et de l'industrie, Paris, jusqu'au 4 janvier 2015

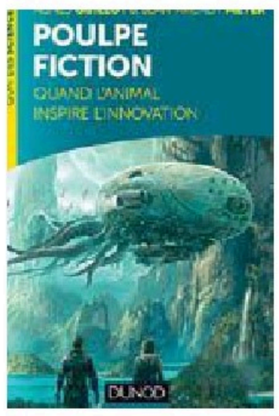
LIVRES



MÉDECINES DOUCES : INFO OU INTOX ?

Simon Singh et Edzard Ernst
Cassini, 2014, 416 p., 22 €

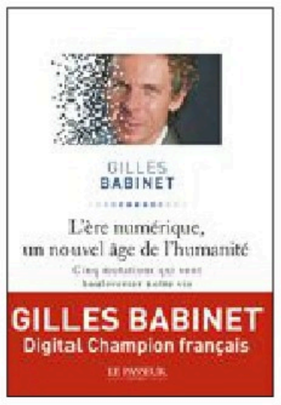
L'acupuncture, l'homéopathie ou la phytothérapie sont abondamment utilisées par les patients et parfois remboursées par la Sécurité sociale. Mais sont-elles efficaces ? Pour le savoir, Simon Singh et Edzard Ernst ont passé en revue des centaines d'essais cliniques qui explorent de façon rigoureuse leurs effets. Le résultat est sans appel. Un brûlot à lire absolument. ✳



POULPE FICTION,

Agnès Guillot et
Jean-Arcady Meyer
Dunod, 2014, 240 p., 19 €

Robots qui se coordonnent comme les fourmis, hydrolienne à queue de thon, adhésifs inspirés des pattes du gecko, climatisation mise au point par les termites… un inventaire ludique et précis des inventions soufflées par les animaux. ✳



L'ÈRE NUMÉRIQUE, UN NOUVEL ÂGE DE L'HUMANITÉ

Gilles Babinet
Le Passeur, 2014,
240 p., 19,9 €

Gilles Babinet, entrepreneur prolixe qui a présidé le Conseil national du numérique, analyse comment le numérique bouleverse cinq domaines de notre existence, éducation et santé, en tête. Un essai optimiste qui, après une première partie poussive, fourmille d'idées. ✳

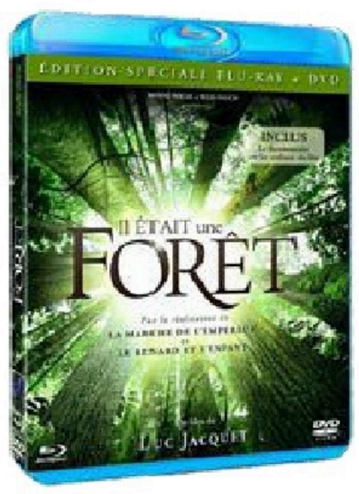
COMMENT LES LABOS NOUS RENDENT FOUS

Cédric Morin
La Martinière, 2014,
256 p., 18 €

Vous avez des insomnies ? Vous êtes triste plus de deux semaines après un décès ? Votre cas fait parti des 500 troubles mentaux répertoriés par la bible des psychiatres ! Cédric Morin montre comment médecins et labos pharmaceutiques sont parvenus à psychiatriser des maux normaux de la vie. ✳

DVD

LE CONGRÈS
de Ari Folman, 20 €
Pour sauver son fils atteint d'une maladie rare, Robin Wright, dans son propre rôle, accepte de vendre son image scannée à une société de production sans scrupule qui s'apprête à commercialiser une nouvelle drogue. Mêlant prises de vues réelles et dessins animés, ce film sort en DVD et Blu-ray avec les commentaires du réalisateur. ✳



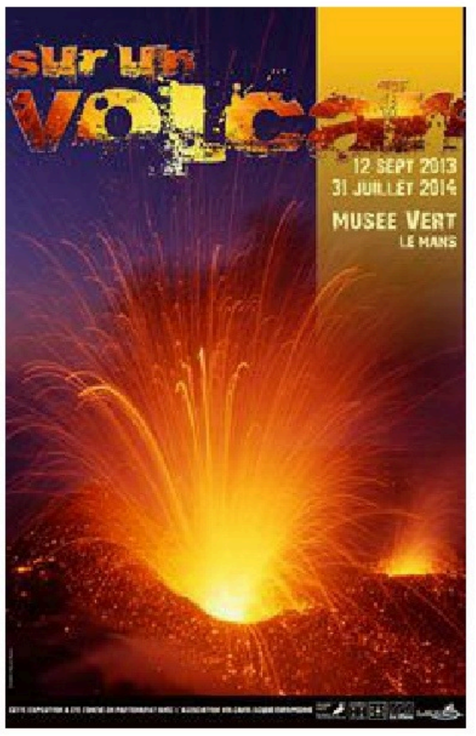
IL ÉTAIT UNE FORÊT
de Luc Jacquet, 20 €
Assistez à un miracle de la nature: la naissance d'une forêt tropicale. De la plus petite graine aux imposants feuillages de la canopée, vous la verrez croître et se peupler pendant sept siècles. Ce documentaire du réalisateur de *La Marche de l'Empereur* revient dans une édition spéciale DVD + Blu-ray, comprenant les coulisses du film. ✳

SORTIES

EXPOS

MUSÉE DE GÉOLOGIE PIERRE VETTER

AU TEMPS DES DERNIERS DINOSAURES
À quoi ressemblait le monde alors que les derniers dinosaures arpentaient encore la Terre? Découvrez-le à l'aide des résultats de fouilles menées dans le Sud de la France et mis en scène à l'aide de maquettes, de films, de fossiles et de panneaux. L'occasion, également, d'imaginer le chemin évolutif que les dinosaures auraient pu prendre s'ils n'avaient pas disparu. ✳
Musée de géologie Pierre Vetter, Decazeville (Aveyron), jusqu'au 28 juin



SUR UN VOLCAN
Musée Vert du Mans (Sarthe), jusqu'au 31 juillet
Alors que la Terre tremble, un paysage d'apocalypse se dessine. La montagne crache ses panaches de fumée délétère et vomit la lave par torrents. Mais comment se forment ces volcans? Ceux des autres planètes sont-ils différents? Vous le saurez en parcourant l'incroyable collection de roches rassemblées par le musée Vert du Mans. ✳

SOUS LA MER UN MONDE
Villa Méditerranée, Marseille (Bouches-du-Rhône), jusqu'au 31 août
Explorez le monde sous-marin avec un jeu de l'oie. Après avoir découvert le scaphandre et appris à piloter un sous-marin, la découverte de la Méditerranée commence: sa faune, sa flore mais aussi ses monstres marins, ses chansons, les films qui s'y rapportent, histoire de faire comprendre que la Grande Bleue est un patrimoine aussi environnemental que culturel. ✳

PAGES RÉALISÉES PAR
Sophie Coisne, Mathieu Lauria et Camille L'Épine

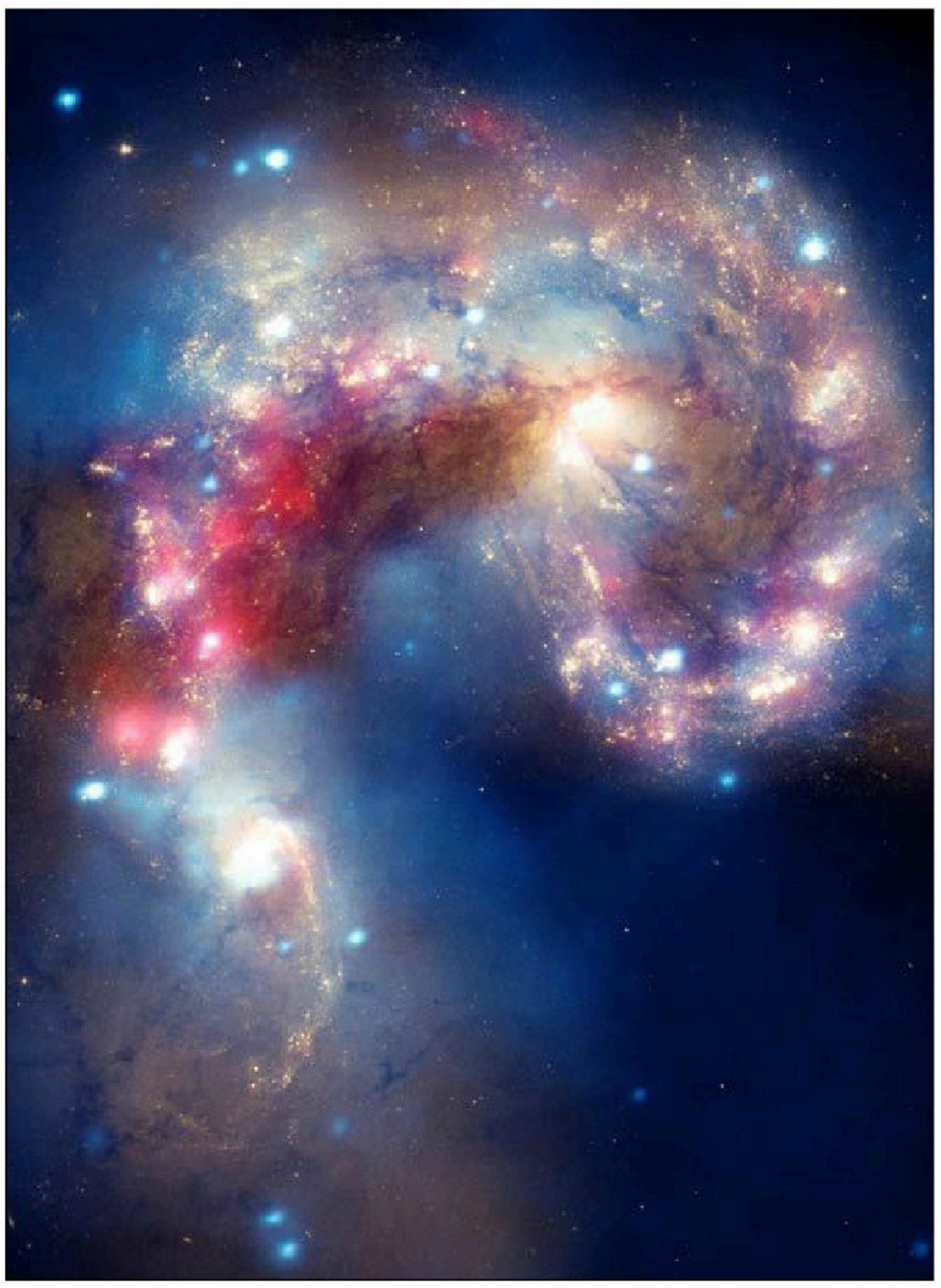
EXPOS

QUAND LA MER SE DÉCHAÎNE

Espace Mendès-France, Poitiers (Vienne), jusqu'au 5 juillet

« C'est pas l'homme qui prend la mer, c'est la mer qui prend l'homme », chantait Renaud. Et il avait en quelque sorte raison. Bien des hommes périrent par les eaux sombres des océans. Cyclone, ouragan, tsunami et autres « colères » de la mer sont expliqués scientifiquement, avec des expérimentations visant à reproduire ces phénomènes. À petite échelle, rassurez-vous. ✳

FESTIVAL



NASA/CXC/SAO/JPL-CALTECH/STSCI

TONDEUSE SUR PATTES

Muséum-aquarium de Nancy (Meurthe-et-Moselle), le 19 juin

Pourquoi ne pas confier la tonte de votre gazon à un mouton? L'idée n'est pas aussi saugrenue qu'il n'y paraît. Certaines entreprises proposent même ce genre de service. Bernard Amiaud, écologiste forestier à l'Inra, nous explique pourquoi le mouton constitue un candidat de choix dans l'entretien des pelouses et des prairies en nous détaillant son régime alimentaire et sa morphologie. ✳

CONFÉRENCES

PELOTE DE COULEUR

Muséum-aquarium de Nancy (Meurthe-et-Moselle), le 10 juillet

À partir de l'exemple de la restauration des tapisseries, Frédérique Salpin, docteur en chimie-physique, nous propose de découvrir comment teindre la laine de mouton. Un processus qui suppose de maîtriser les colorants et la structure des fibres, composées de kératine, comme nos cheveux. ✳

LECTURES DU CIEL

Les amoureux d'astronomie vont être aux anges! Le cycle de conférences proposé par l'association Parsec à l'Astrorama d'Eze, près de Nice, revient pour une nouvelle édition. Exoplanètes, comètes et trous noirs ne sont que quelques-uns des passionnants sujets qui seront abordés chaque mercredi de juillet à août. Et si vous préférez garder la tête dans les étoiles, des soirées d'observation du ciel sont également proposées durant cette période. ✳

Astrorama, Eze (Alpes-Maritimes) du 2 juillet au 27 août

LA MODÉLISATION DES ÉPIDÉMIES

Centre international de conférences de Météo-France, Toulouse (Haute-Garonne), le 12 juin

En science, les phénomènes sont souvent complexes et dépendent d'innombrables facteurs, comme la propagation des maladies. Afin de mieux la comprendre, les scientifiques imaginent des systèmes plus simples, c'est la modélisation. Pierre-Yves Boëlle, chercheur en épidémiologie, détaille ce mode de réflexion. ✳

CINÉMA

LE PACTE/WILDSIDE FILMS

THE ZERO THEOREM

Film de science-fiction
de Terry Gilliam
Sortie le 25 juin

Peut-on découvrir le but de l'existence avec des équations ? C'est en tout cas le projet de Qohen Leth, ermite moderne et génie de l'informatique. Un amour naissant pourrait cependant lui offrir un tout autre point de vue sur le sens de la vie. Le réalisateur de *Brazil* nous offre une nouvelle dystopie à travers ce Londres futuriste sous la surveillance constante d'une autorité invisible. ✳

À VOIR

SND

TRANSCENDANCE

Film de science-fiction de Wally Pfister, avec Johnny Depp. Sortie le 25 juin

Sur le point de concevoir une intelligence artificielle douée de conscience, le scientifique Will Caster est la cible de terroristes antitechnologies qui le blessent grièvement. Sa femme, ne pouvant se résoudre à le perdre, virtualise sa conscience. Mais en s'intégrant au réseau informatique mondial, il devient aussi puissant que dangereux, alors que ses derniers fragments d'humanité vacillent. ✳

WARNER BROS PICTURES

JUPITER ASCENDING

Space-opera de
Andy et Lana Wachowski
Sortie le 23 juillet

Gagner sa vie en nettoyant des toilettes et découvrir un jour que notre ADN nous prédestine à devenir dirigeant de toute la galaxie. Voilà le point de départ d'une histoire d'élu digne des réalisateurs de *Matrix*. Jupiter Jones va se retrouver embarquée dans une aventure interplanétaire au visuel exceptionnel. ✳

Tous les liens du guide

LES VACHES SONT-ELLES MOINS POLLUANTES QUE LES VOITURES ?

Cher Docteur Guique, pour lutter contre le changement climatique et préserver mes poumons des pics de pollution, dois-je troquer ma voiture contre un char à bœufs ?
Satanas_Matic@gpl.com

Les idées les plus folles sont parfois les meilleures. Parfois seulement. Remplacer les chevaux de nos moteurs par des bœufs est une proposition certes intéressante, mais j'ai bien peur qu'elle ne révolutionne pas notre façon de lutter contre le changement climatique. Si, à la différence de nos engins, les vaches n'émettent pas de particules fines susceptibles de nous encrasser les poumons, elles sont cependant moins innocentes qu'elles n'en ont l'air, occupées seulement à mâchonner en regardant passer les trains.

En effet, en plus du dioxyde de carbone (CO_2) qu'elles expirent, elles relâchent dans l'atmosphère un autre gaz à effet de serre plus terrible encore : le méthane. Celui-ci absorbe beaucoup plus de rayonnements solaires que le CO_2 et est donc 21 fois plus polluant que le gaz à effet de serre de référence !

Le méthane est issu de la digestion des glucides par les bactéries logées dans le rumen, le premier des quatre estomacs de la bête à cornes. Aussi peut-on dire que, chez ces animaux, le pot d'échappement se trouve à l'avant, puisque c'est bien en rotant que les ruminants se débarrassent de leur trop-plein gazeux.

Et, comme pour les voitures, plus la consommation de carburant – autrement dit de fourrage – est importante, plus la pollution émise est conséquente. Une vache bien nourrie peut ainsi produire jusqu'à 300 ou 400 grammes de méthane par jour. Pour les quelque 19 millions de bovins élevés en France – veaux et bœufs compris, moins gourmands –, on atteint plus de 1,2 million de tonnes de méthane par an, ce qui a, sur l'effet de serre, un impact équivalent à 25,2 millions de tonnes de CO_2 !

La digestion des bovins serait donc responsable d'environ 6% des émissions de gaz à effet de serre de l'Hexagone. À titre de comparaison, les 31 millions de véhicules particuliers français en produisent environ 16%. Pour autant, la cause des bovins n'est pas perdue. Il est même possible de les rendre plus écoresponsables. Ainsi, en substituant une partie des céréales, riches en glucides, par des graines de lin, riches en lipides et qui ne produisent pas de méthane pendant la digestion, on peut espérer diminuer les renvois de gaz d'environ 15%.

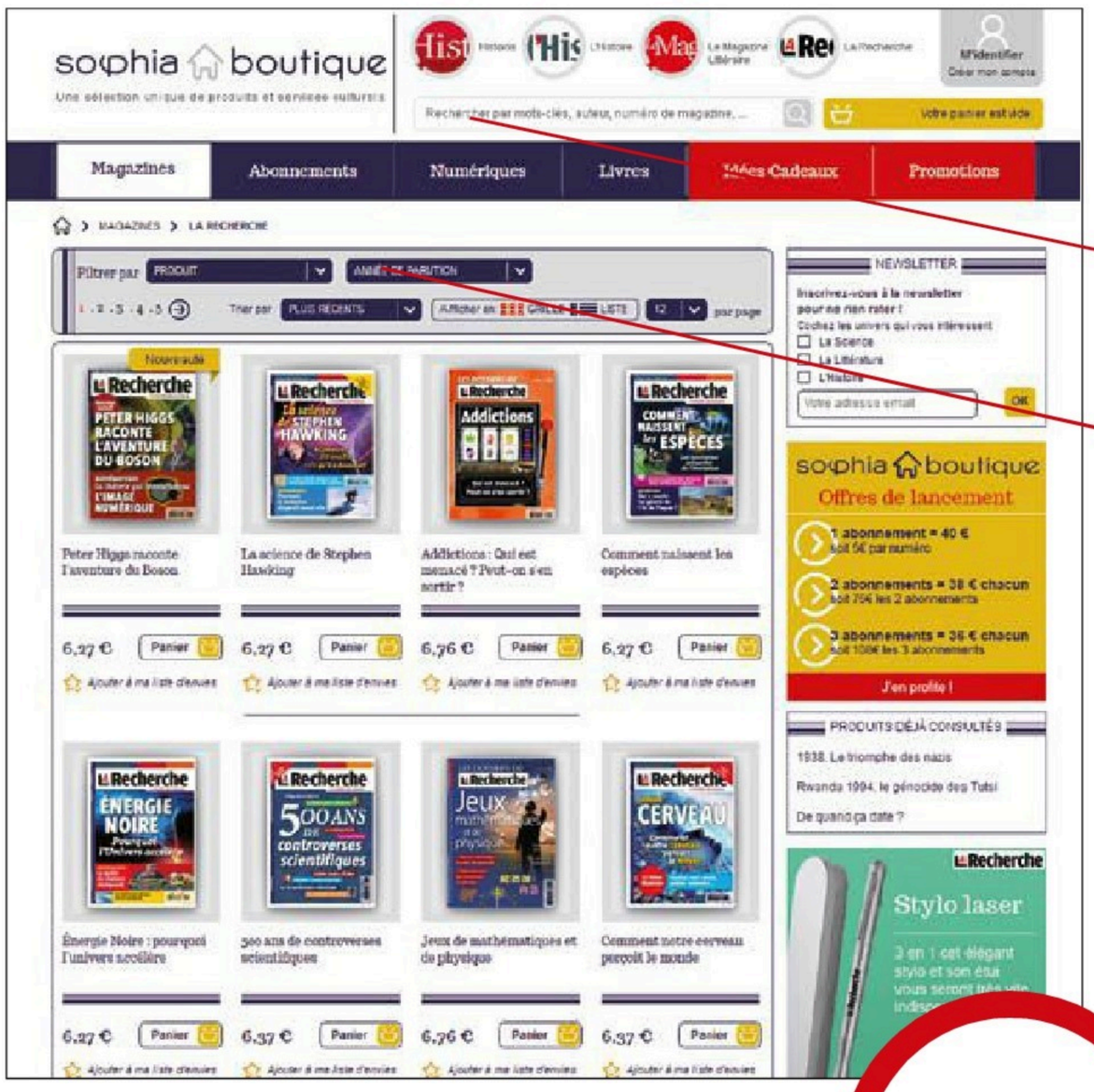
À la lumière de ces chiffres, je vous laisse donc libre de choisir si vous souhaitez circuler à dos de bovin. Pour ma part, bien que l'idée de transformer les bouchons routiers en course landaise me séduise assez, je ne parviens pas à m'imaginer chevauchant une vache, même limousine, pour me rendre à un rendez-vous. ✳

Clément Delorme ILLUSTRATION **Jean-Michel Thiriet**

NOUVEAU ! **La Recherche** lance

www.sophiaboutique.fr

Retrouvez l'intégralité des produits disponibles de **La Recherche** : n
papier et numérique, livres, Ebooks, voyages et conférences... mais aussi une
sélection de produits recommandés par nos auteurs et spécialistes.



ACTUELLEMENT
Livraison offerte à partir de 49 € d'achat

+ de 5 000 articles culturels autour des univers de l'histoire, de la littérature et des sciences

De nombreux critères de sélection pour affiner votre recherche

Une navigation facilitée par un moteur de recherche avec suggestion de mots-clés

Et tout au long de l'année, des promotions jusqu'à 50% de remise sur vos produits préférés, des déstockages à partir de 1,90 € et plein d'autres avantages.

Connectez-vous vite sur www.sophiaboutique.fr pour bénéficier des **promotions** et **déstockages** du moment.

Une sélection unique de produits et services culturels

Livraison à domicile rapide
NOUVEAU ! livraison en Point Relay

Paiement sécurisé

Satisfait ou remboursé

100% des articles en stock

CONCOURS GÉNÉRATION DÉVELOPPEMENT DURABLE

10e ANNIVERSAIRE 2014

Inventer pour le monde de demain

Félicitations aux lauréats 2014 !

Catsaï Design - istockPhoto - Shutterstock

1ER PRIX

Micr'Home

Myrtille DROUET
École de Design Nantes Atlantique

2E PRIX EX-ÆQUO

Gaspi'Potes

Zoé CHALOIN, Marielle LAUTROU
Juliette RODRIGUEZ, Jacques VEYRON
Université Paris-Diderot

Cyclamen

Antoine DEVINS, Laurent ROUGERIE
AgroParisTech

PRIX SPÉCIAL 10 ANS

L'eau dans tous ses états

Emilie BUAILLON
IAE Gustave Eiffel

Plus d'informations sur les projets sur www.concoursgeneration d2.com

Un événement

La Recherche – L'actualité des sciences

ADEME

Bouygues Immobilier

Avec le soutien de

ANOUS

autolib'

DUNOD

letudiant.fr

terraeco

Télérama culture plus le webcampus